

Geofysik for alle – del 2

TUP – Projekt : tTEM – ny kortlægningsmetode til risikovurdering af grundvandsforurening fra punktkilder

Faglig tilrettelæggelse

Chefkonsulent Flemming Jørgensen, Region Midtjylland

Teamleder Jesper Simensen, Region Midtjylland

Fagchef Anders Edsen, WSP Danmark

Chefrådgiver Henrik Olesen, WSP Danmark

Chefkonsulent Nina Tuxen, Region Hovedstaden



Geofysik for alle - del II

- 13.30 – 13.40 Præsentation af TUP-projektets formål, motivation og projektdeltagere
v/ Flemming Jørgensen, Region Midtjylland
- 13.40 – 14.00 tTEM-metoden og opnåede erfaringer omkring dataindsamlingsstrategi og kvalitetssikringsrutiner
v/ Anders Edsen, WSP Danmark og Jesper Bjergsted Pedersen, Aarhus Universitet
- 14.00 – 14.10 Eksempel fra Hanehøjvej ved Skørping
v/ Annette Dohm, Region Nordjylland; Anders Edsen, WSP Danmark; Flemming Jørgensen, Region Midtjylland
- 14.10 – 14.20 Eksempel fra Skovlytoften ved Søllerød
v/ Vinni Rønde, Region Hovedstaden; Anders Edsen, WSP Danmark; Flemming Jørgensen, Region Midtjylland
- 14.20 – 14.30 Eksempel fra Skovmølleværket ved Svendborg
v/ Tove Svendsen, Region Syddanmark; Anders Edsen, WSP Danmark; Flemming Jørgensen, Region Midtjylland
- 14.30 – 14.40 Eksempel fra Voldum ved Randers
v/ Jesper Simensen, Region Midtjylland; Anders Edsen, WSP Danmark; Flemming Jørgensen, Region Midtjylland
- 14.40 – 14.55 Perspektivering – potentiale og udsyn ved brug af tTEM-metoden på forureningsundersøgelser
v/ Jesper Simensen, Region Midtjylland

TUP-projekt

tTEM – ny kortlægningsmetode til risikovurdering af grundvandsforurening fra punktkilder

- Miljøstyrelsen
- Regioner: Syddanmark, Hovedstaden, Nordjylland, Midtjylland
- WSP
- VMR
- Aarhus Universitet



- tTEM har et stort potentiale i forbindelse med undersøgelser af grundvandsbåren forurening fra punktkilder

Men..

- Metoden er svær og kompleks at bruge og implementere i det daglige arbejde
- Brugen af metoden kræver tæt samarbejde mellem fagpersoner og specialister
- Kræver erfaring og veldefinerede arbejdsgange

Projektets formål

- At **optimere anvendelsen af tTEM** gennem:
 - Erfaringsopsamling på hidtidige kortlægninger
 - Afprøvning i forskellige geologiske miljøer
 - Afprøvning af forskellige layouts for dataindsamling
 - Teste metoder og arbejdsgange til databehandling og geologisk tolkning
- At **udbrede anvendelse af tTEM i regionernes arbejde** ved at:
 - Dele viden opnået via de gennemførte pilotprojekter
 - Give medarbejdere i regionerne erfaring med metoden
 - Sætte fokus på diverse faldgruber i anvendelsen
 - Udarbejde anbefalinger for brugen af tTEM i forureningssager

tTEM metoden og opnåede erfaringer omkring dataindsamlingsstrategi og KS-rutiner

- Kort præsentation af tTEM metoden
- Inkludering af tTEM, hvordan kunne arbejdsprocessen se ud?
- Resultater fra test med
 - Indsamlingshastighed,
 - Linjeafstand
 - Kørselsretning
- Fokus på datakvalitet
 - Dokumentation af datakvalitet
 - Kalibrering af tTEM – er det nu nødvendigt?

Jesper Bjergsted Pedersen (Senior Research Geophysicist)

HydroGeofysik Gruppen, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

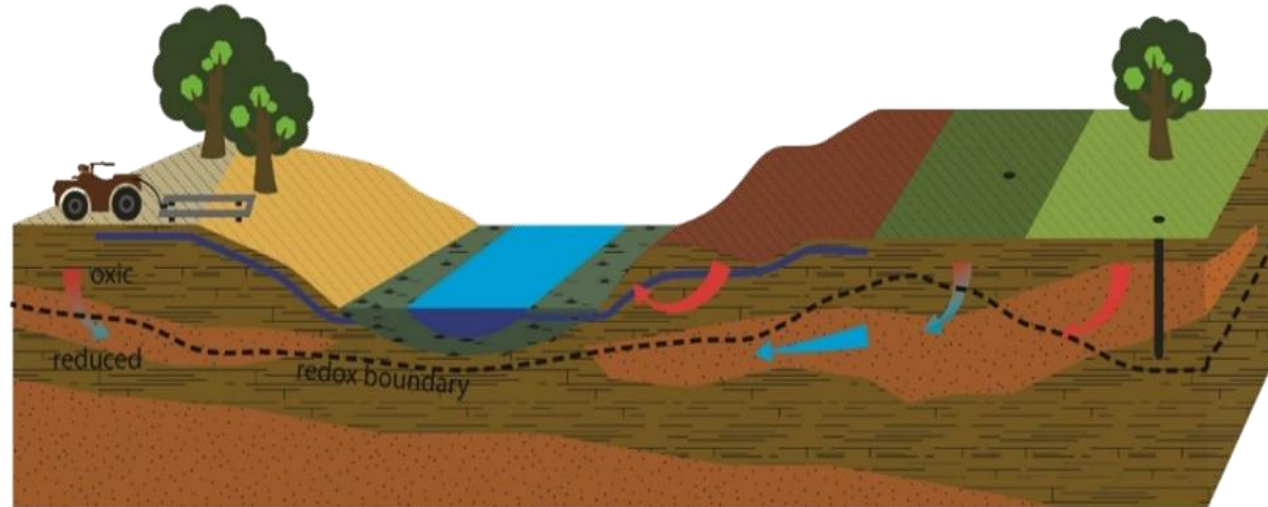
Anders Edsen (Fagchef Geofysik)

WSP Danmark



Motivation

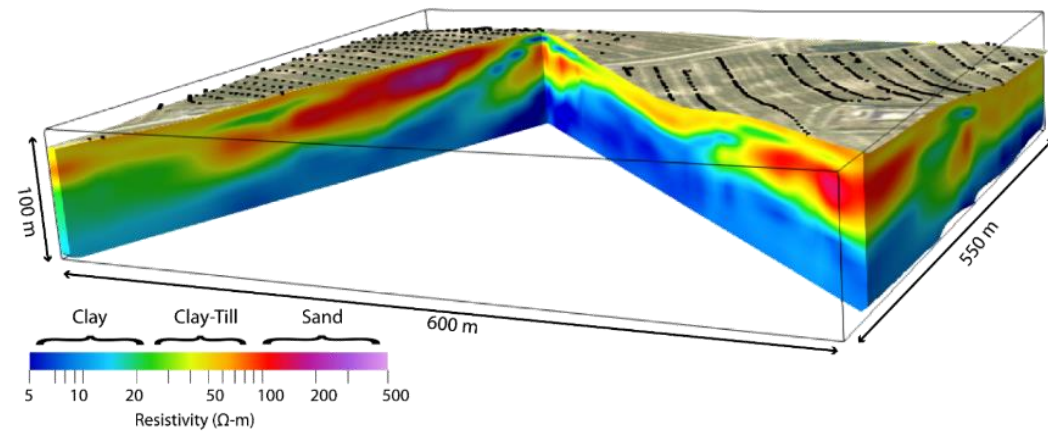
- Effektiv kortlægningsmetode til at beskrive følgende på hektar skala:
 - Overflade-/grundvands-interaktion (geologiske strukturer, ressource- og sårbarhedskortlægning)
 - Geoteknisk anvendelse
 - Råstoffer
 - Punktkildeforureninger
- Behov for
 - Høj opløsning
 - Fladedækning
 - Hurtig og kost-effektiv



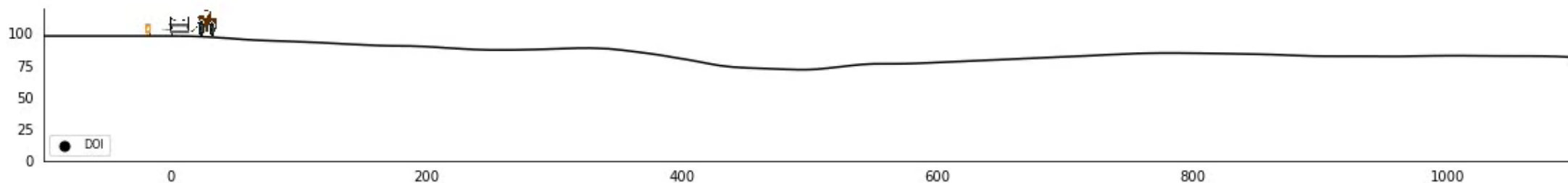
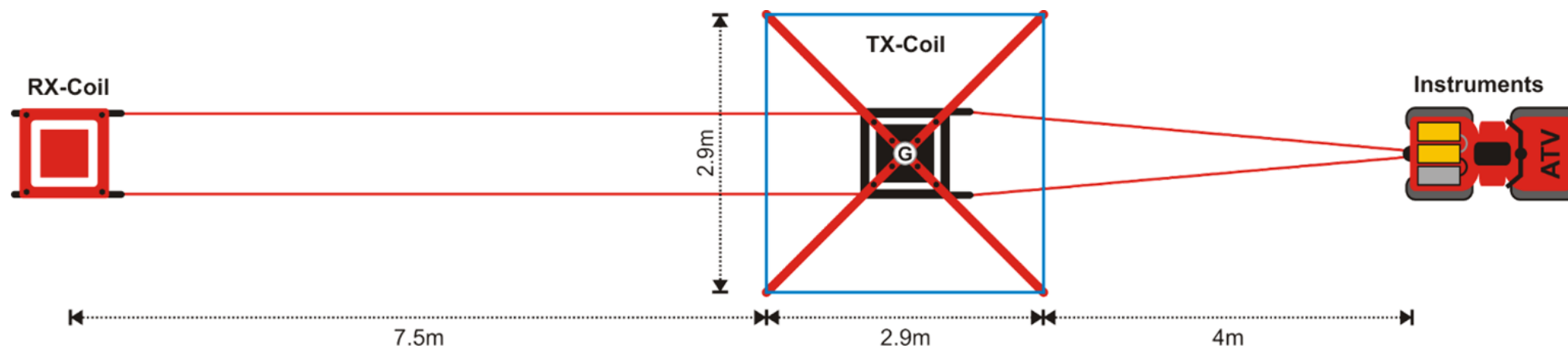
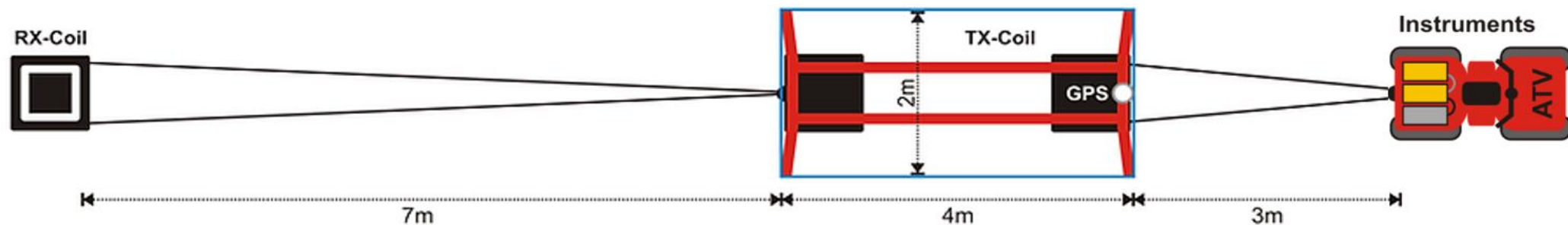
tTEM Metoden



tTEM Metoden

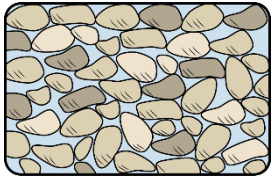


tTEM Metoden

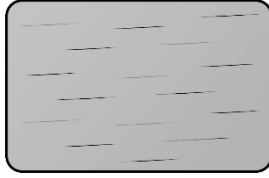


tTEM Metoden – hvad måler vi?

- Sediment

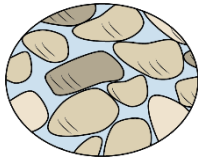
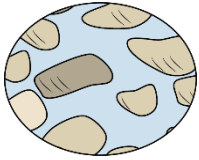


Sand

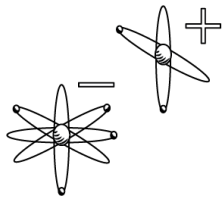
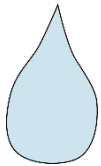


Ler

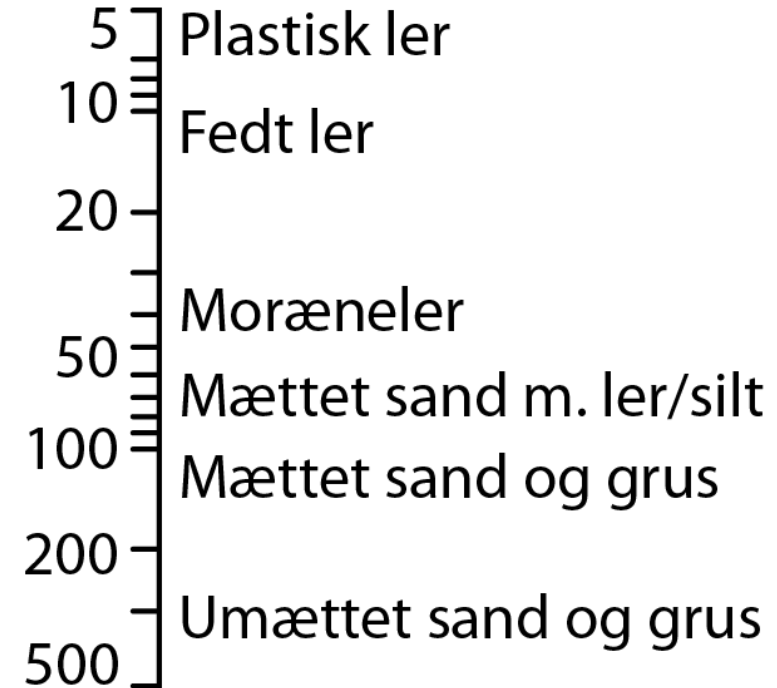
- Porøsitet/permeabilitet



- Ion-indhold i porevæske



Modstand

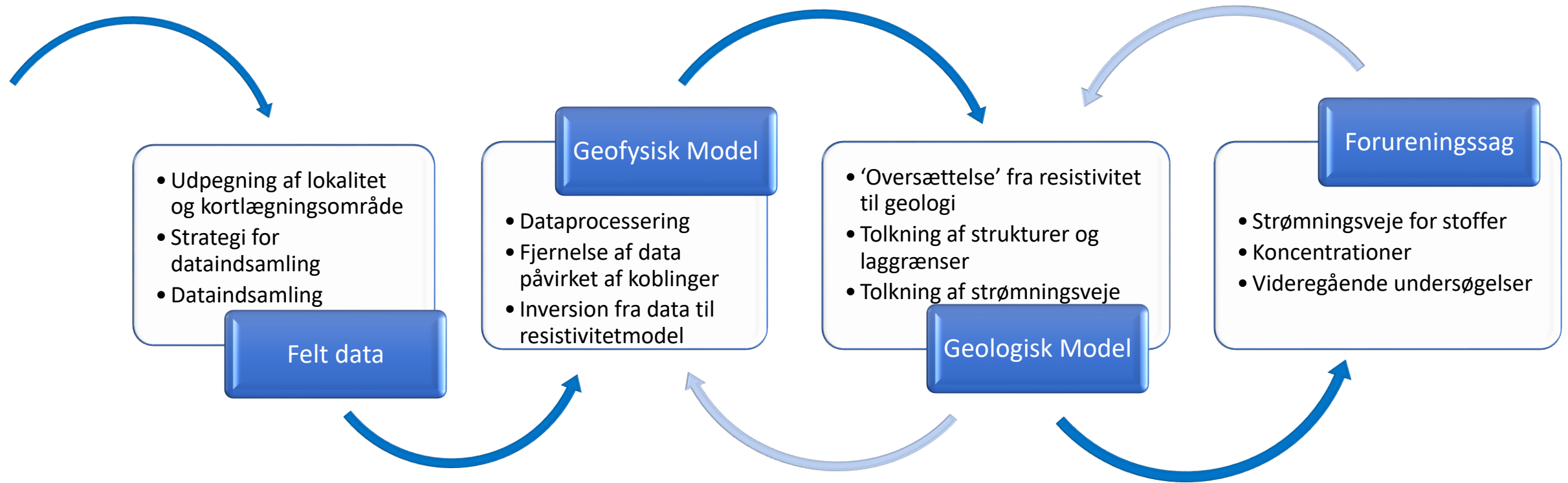


tTEM Metoden

- tTEM – åbne landskab
- FloaTEM – søer, floder og kystzonen
- SnowTEM – permafrost



Inkludering af tTEM, - hvordan kunne arbejdsprocessen se ud ?



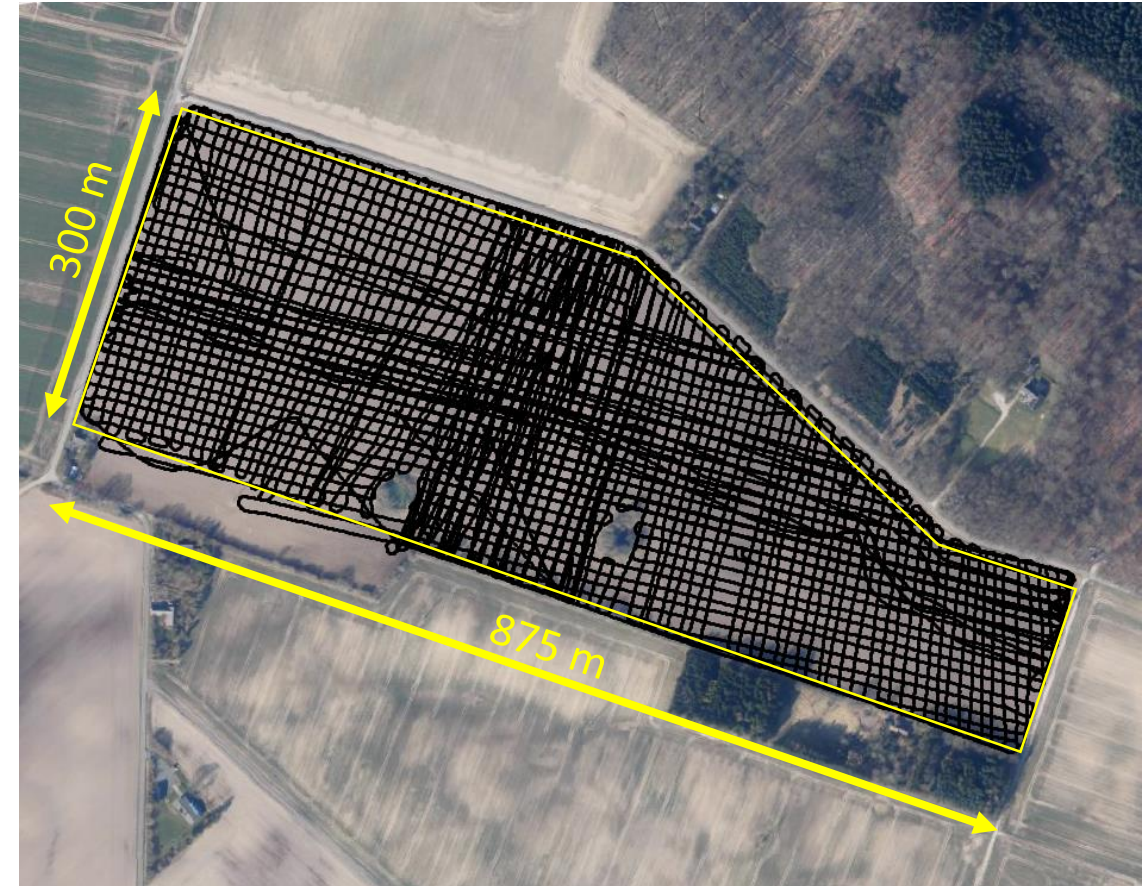
Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning

- Testområde på ca. 20 ha
- Linjeafstand på 10 m , 20 m, 30 m og 40 m
- Dataindsamling i to retninger
- Hastigheder på 5 km/t, 15 km/t og 25 km/t

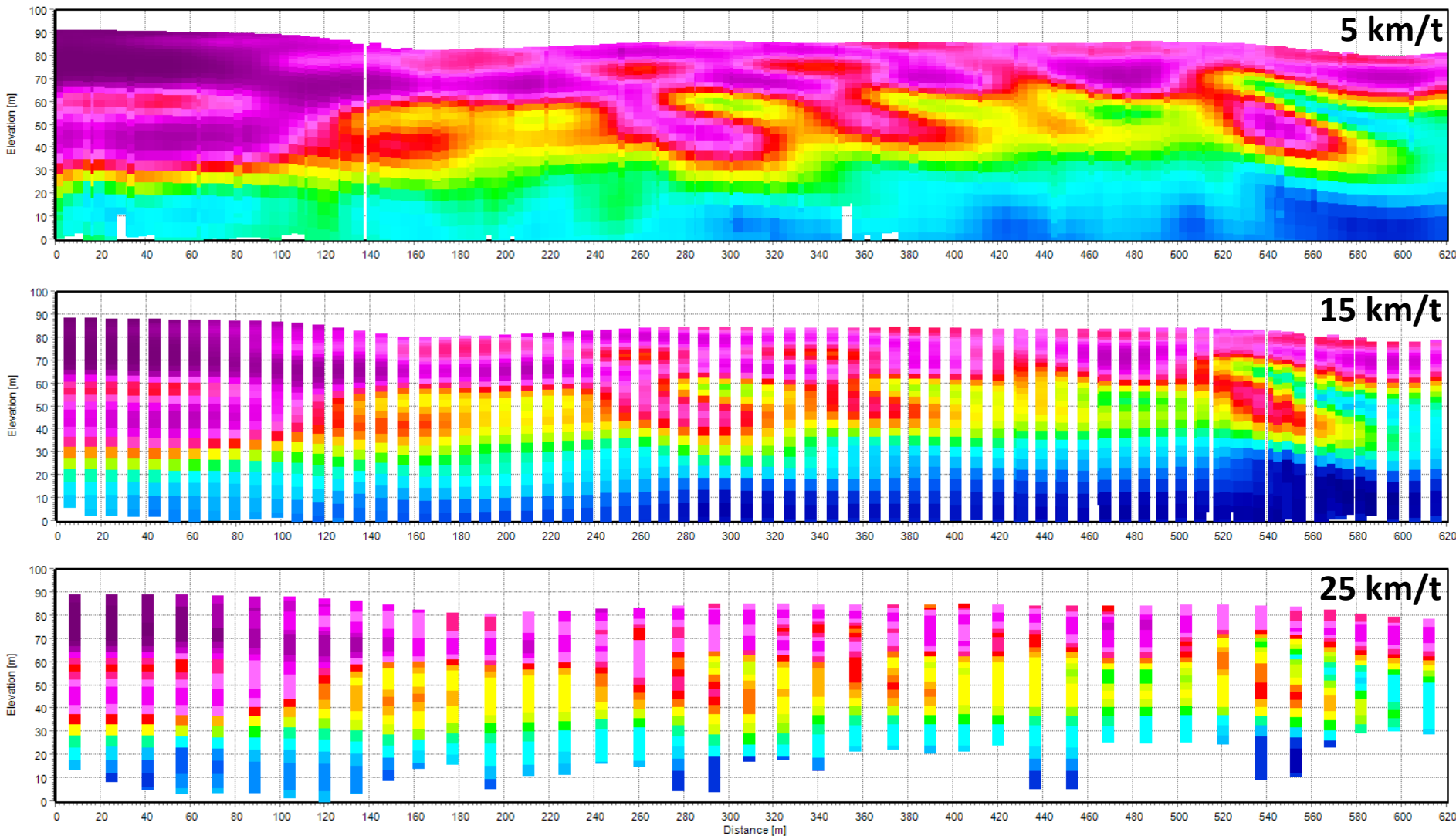


Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning

- Testområde på ca. 20 ha
- Linjeafstand på 10 m , 20 m, 30 m og 40 m
- Dataindsamling i to retninger
- Hastigheder på 5 km/t, 15 km/t og 25 km/t

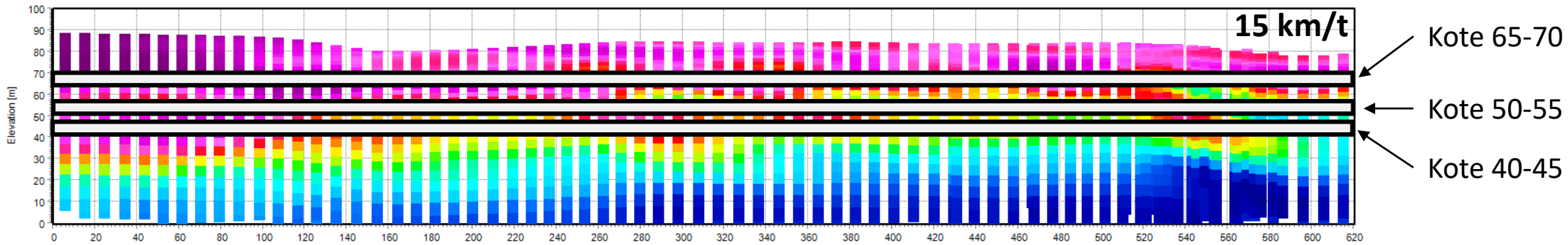


Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



5 km/t = 1,4 m/s
15 km/t = 4,2 m/s
25 km/t = 6,9 m/s

Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



Linjeafstand 10 m



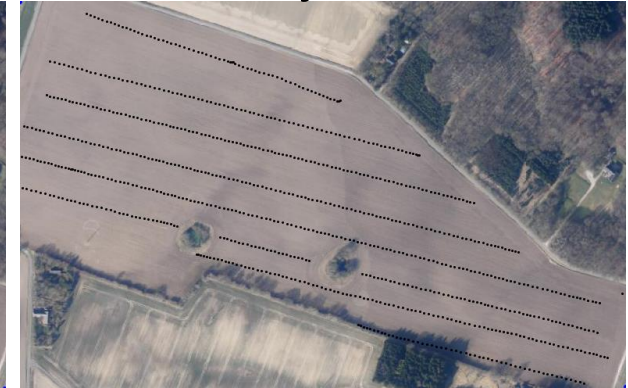
Linjeafstand 20 m



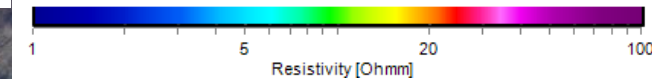
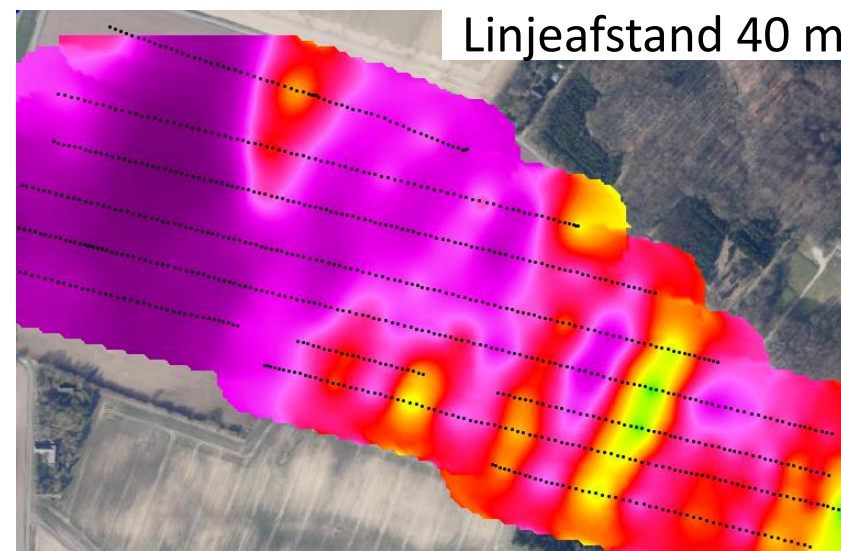
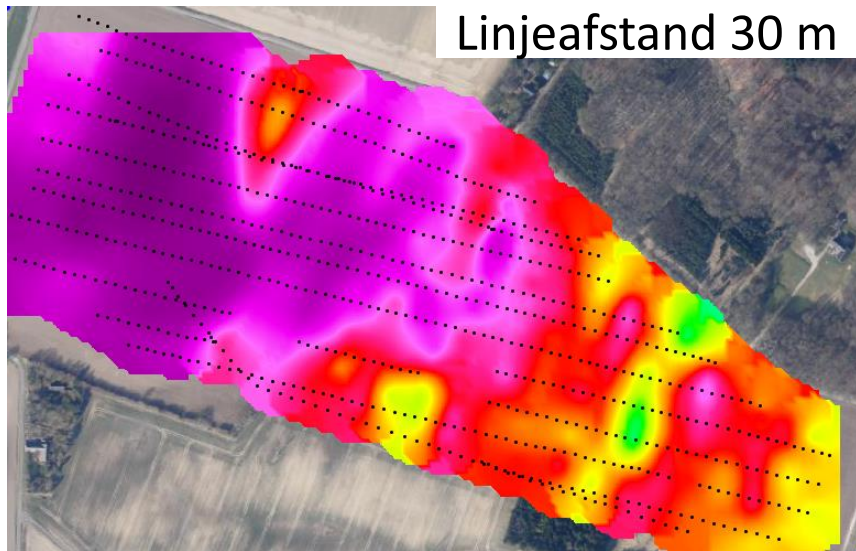
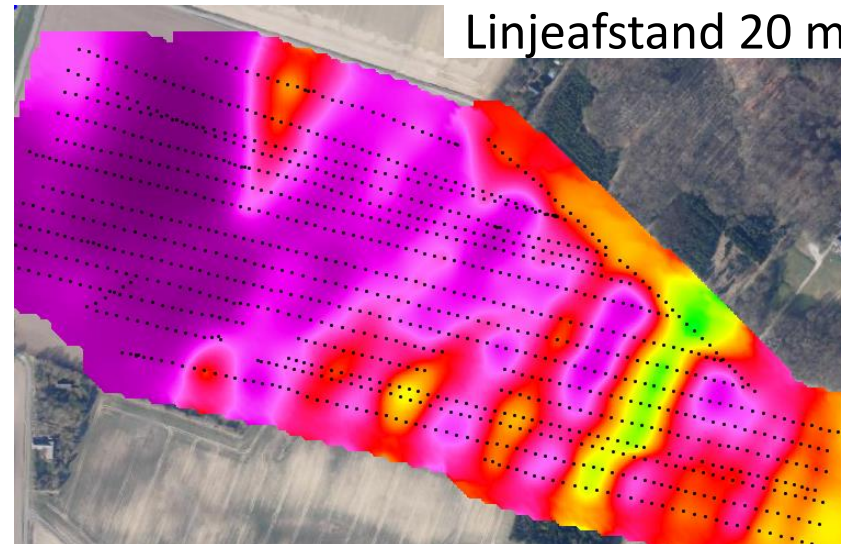
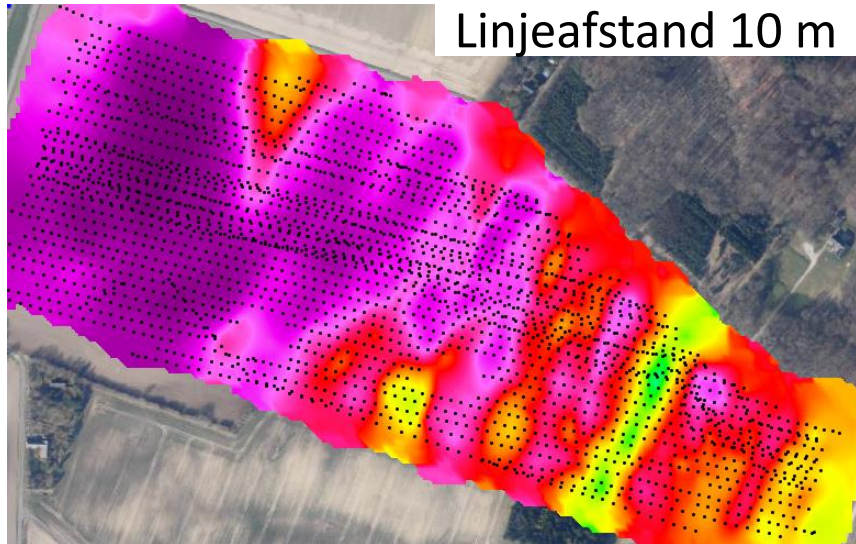
Linjeafstand 30 m



Linjeafstand 40 m



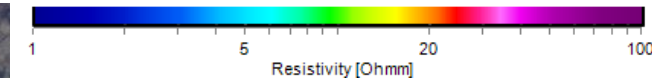
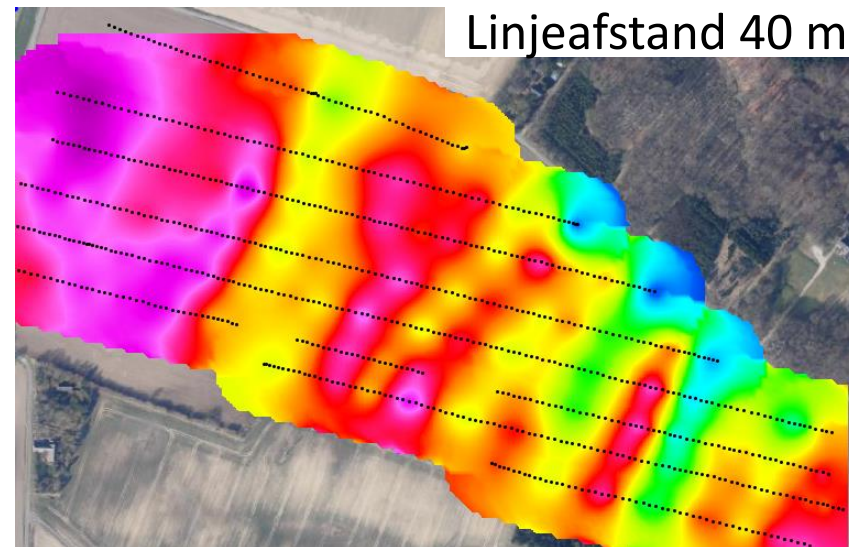
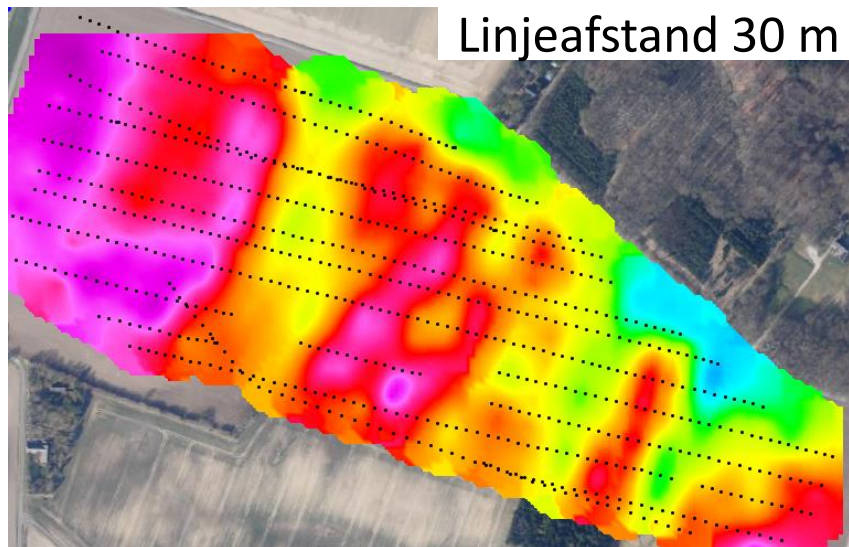
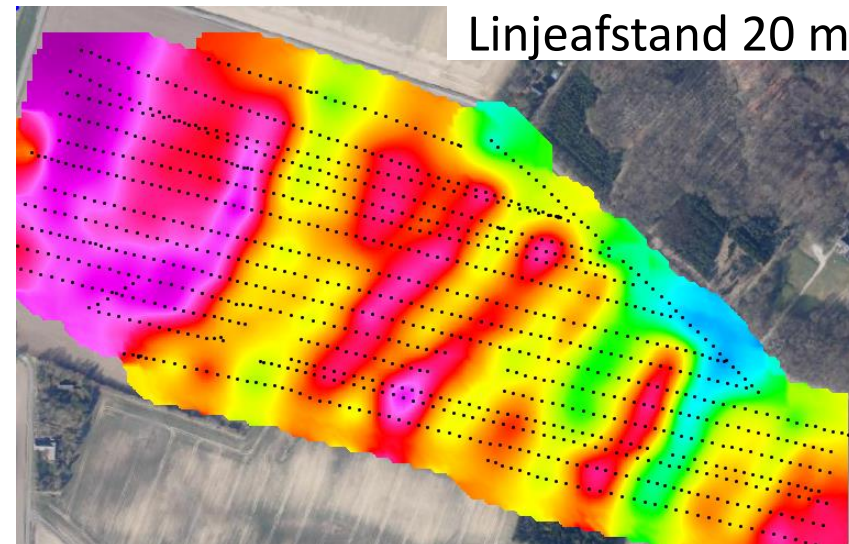
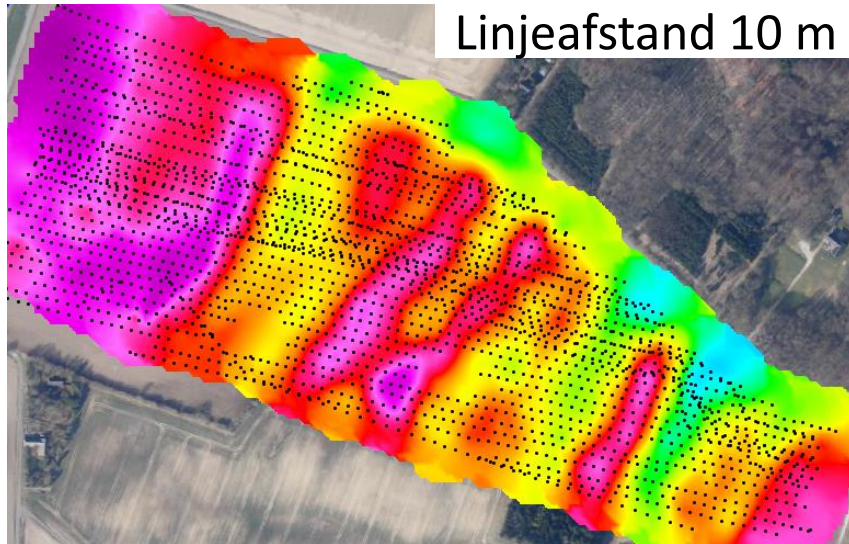
Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



15 km/t
Kote 65-70

5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

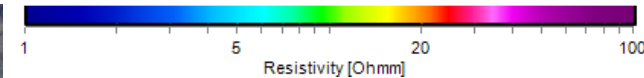
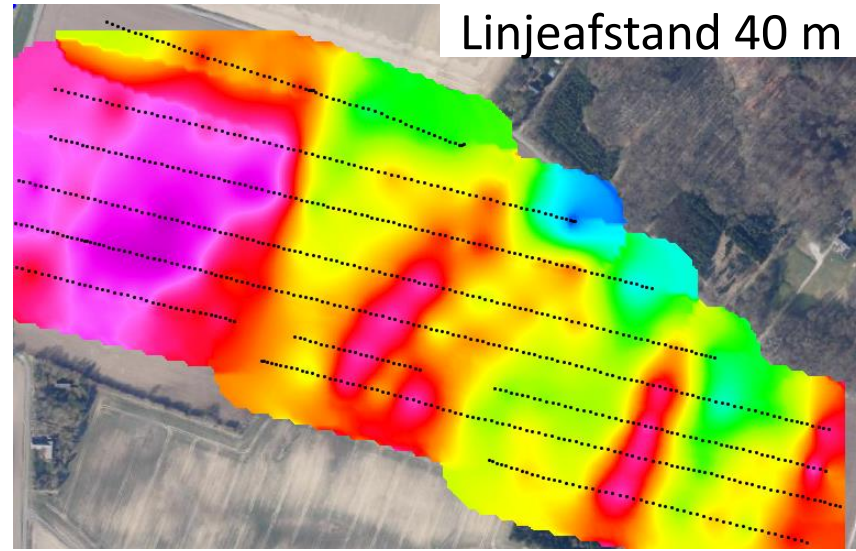
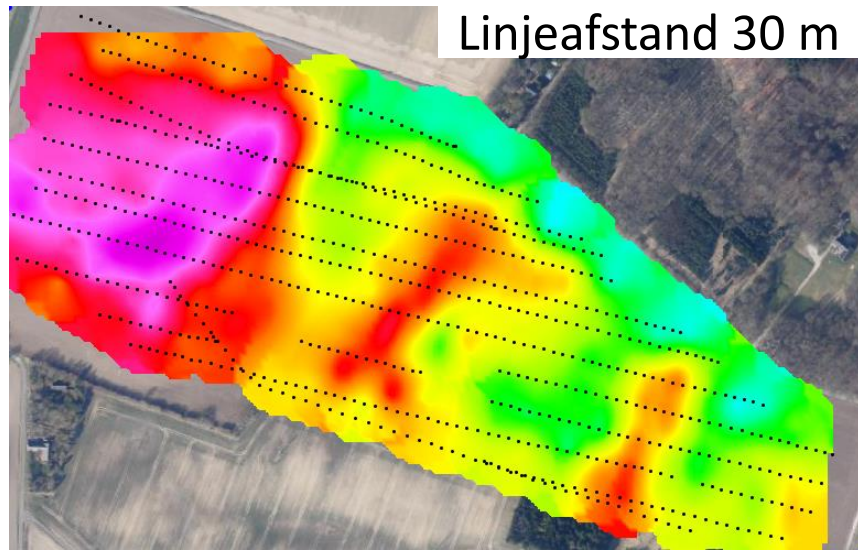
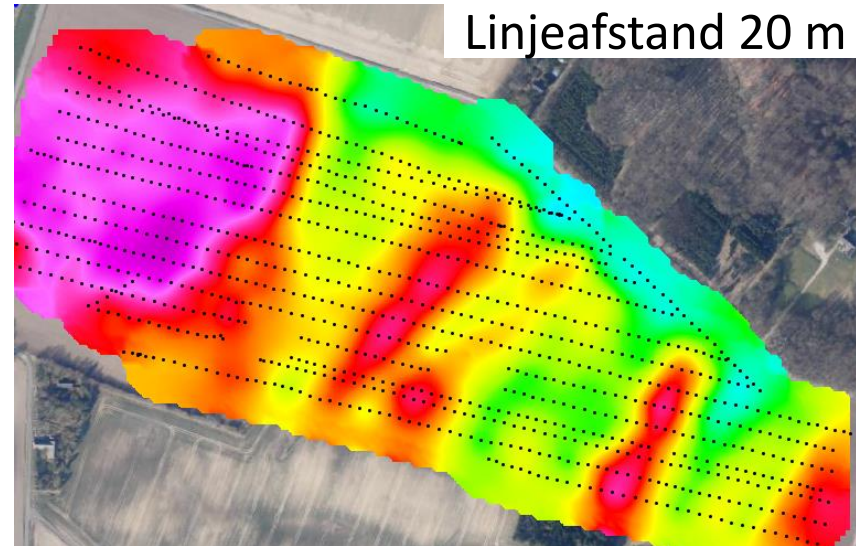
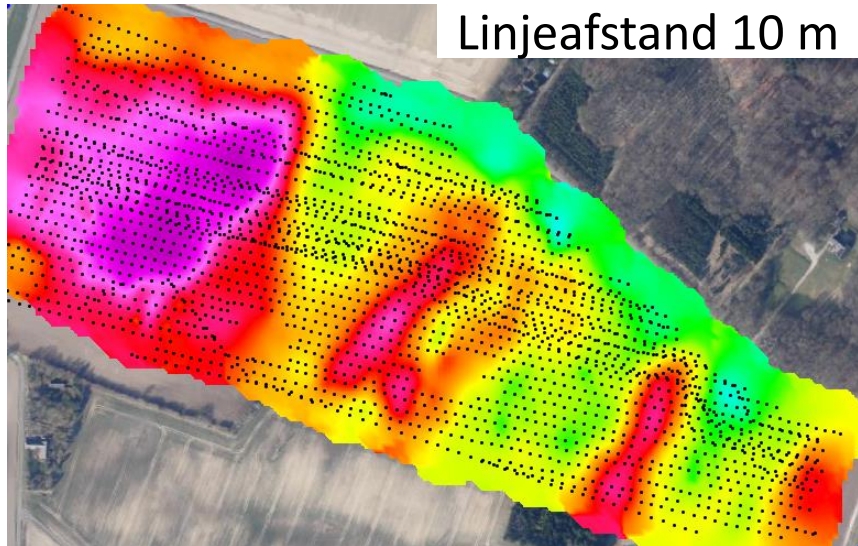
Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



15 km/t
Kote 50-55

5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

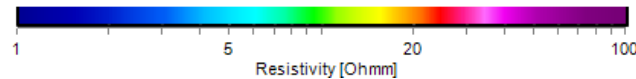
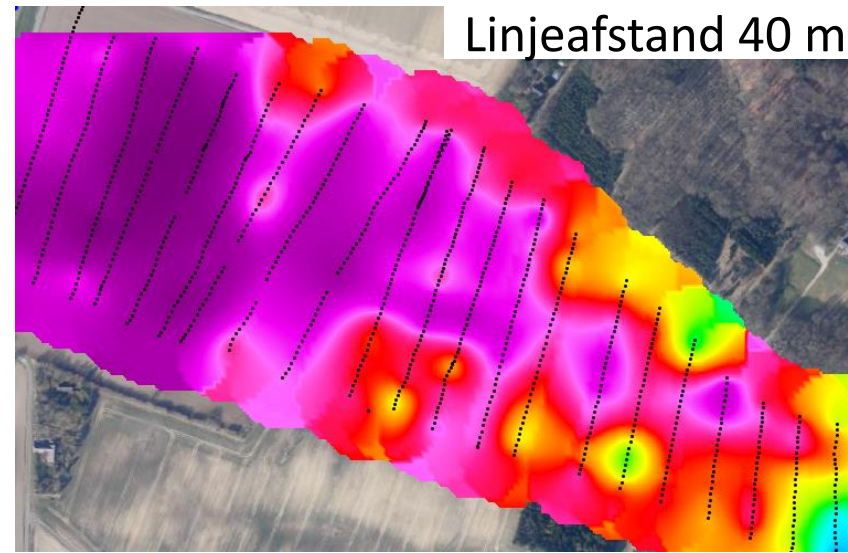
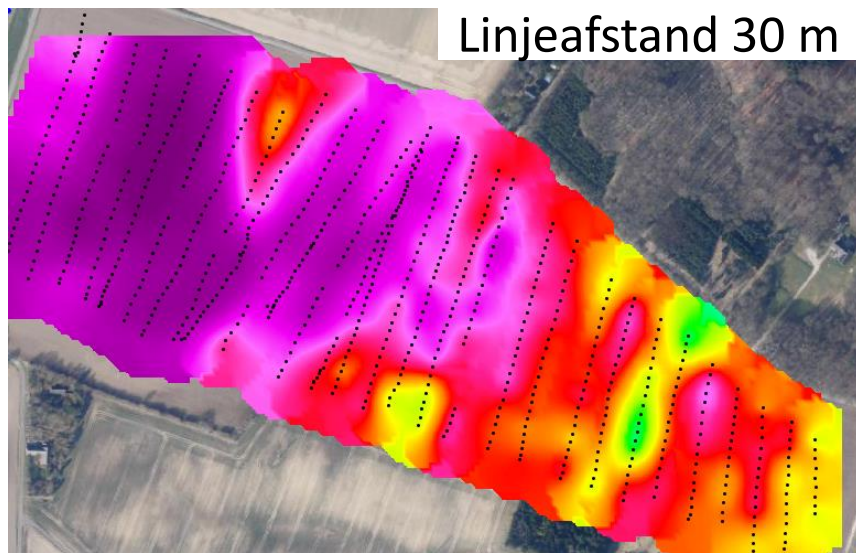
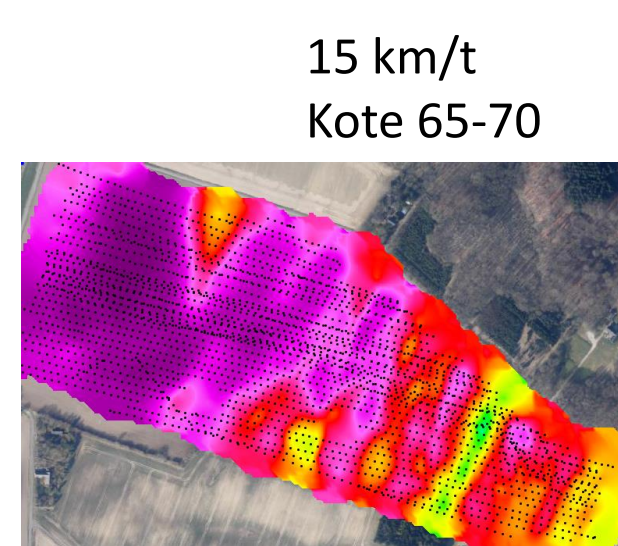
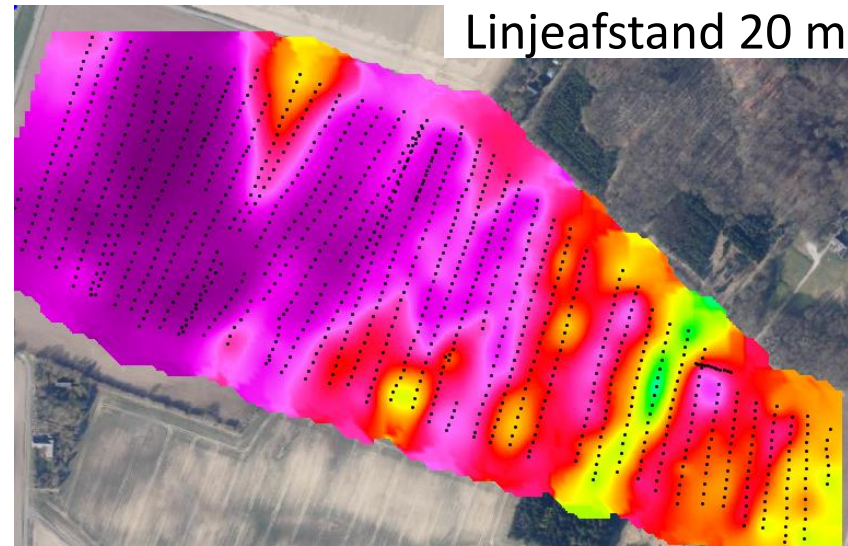
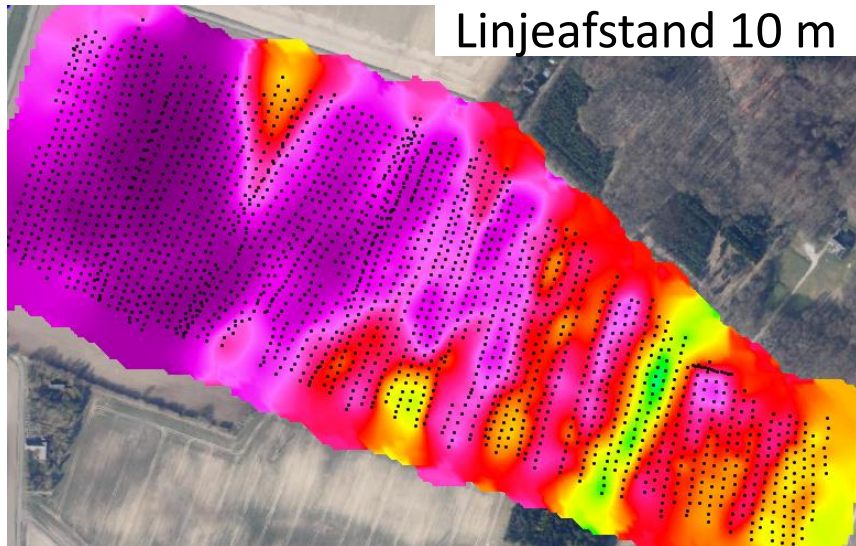
Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



15 km/t
Kote 40-45

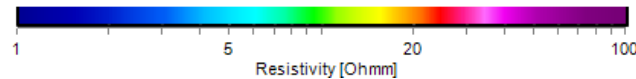
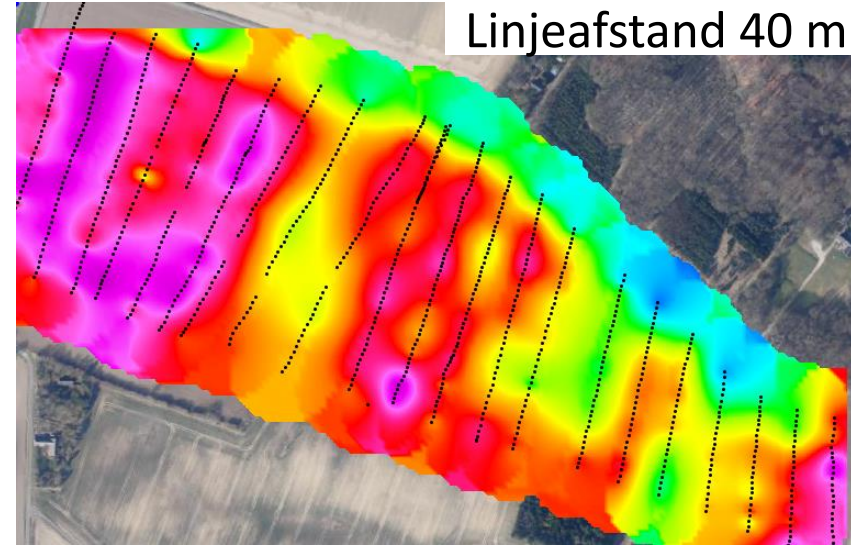
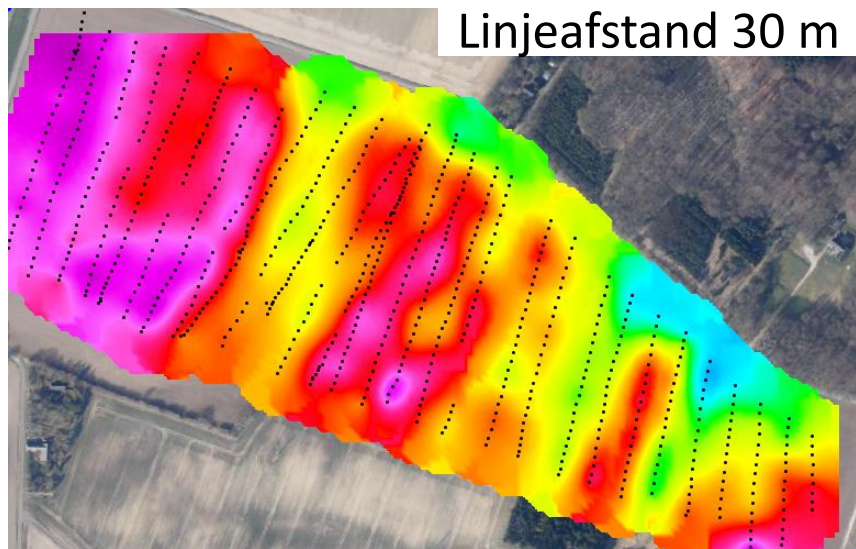
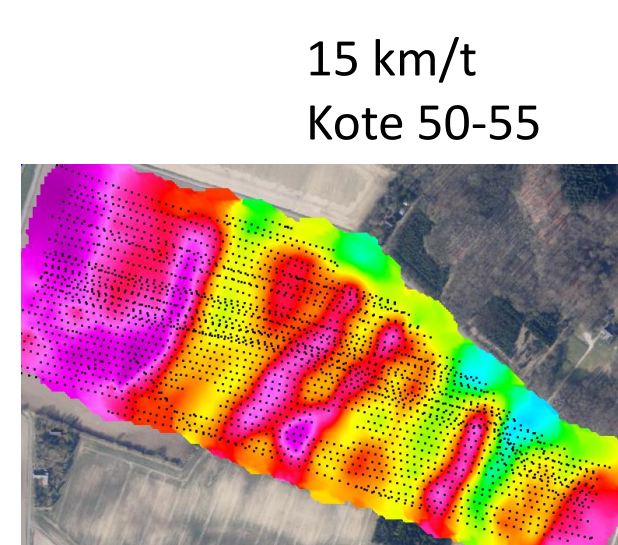
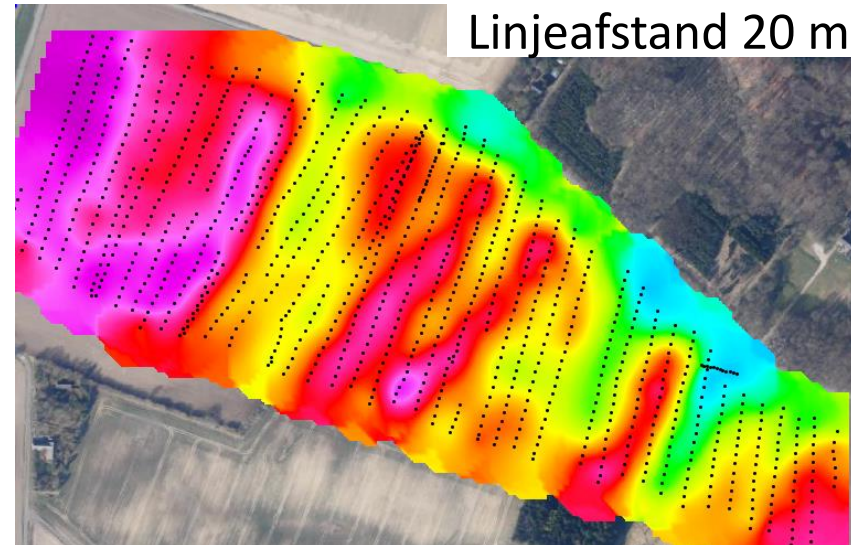
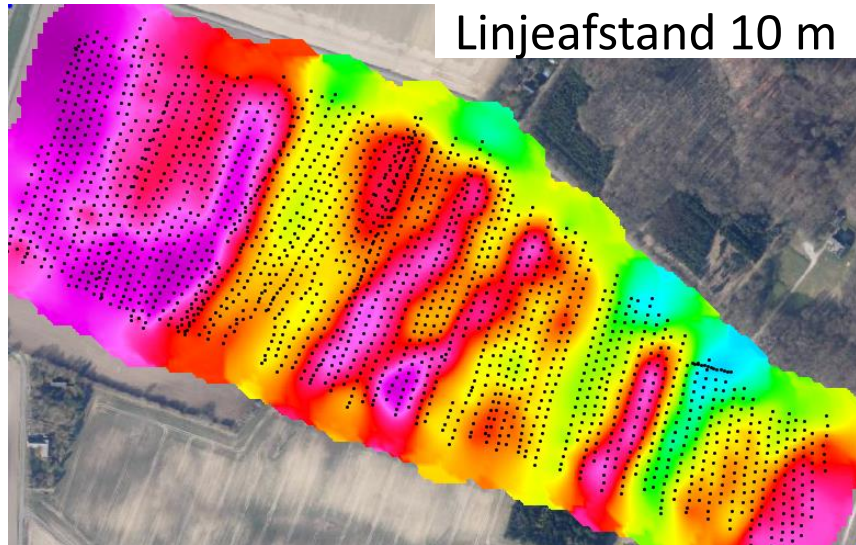
5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



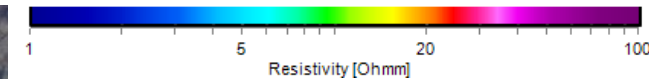
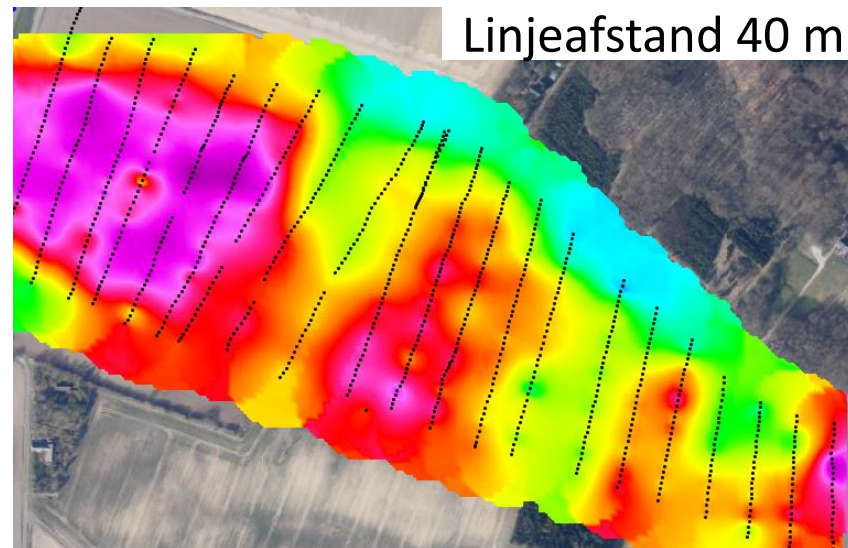
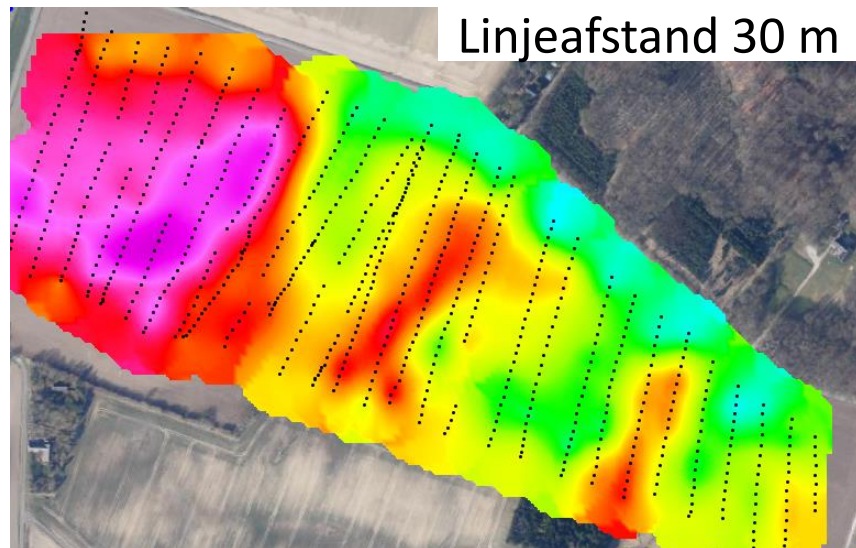
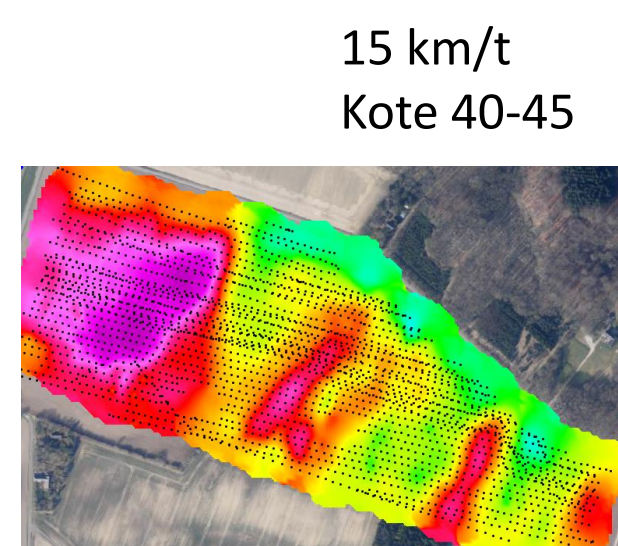
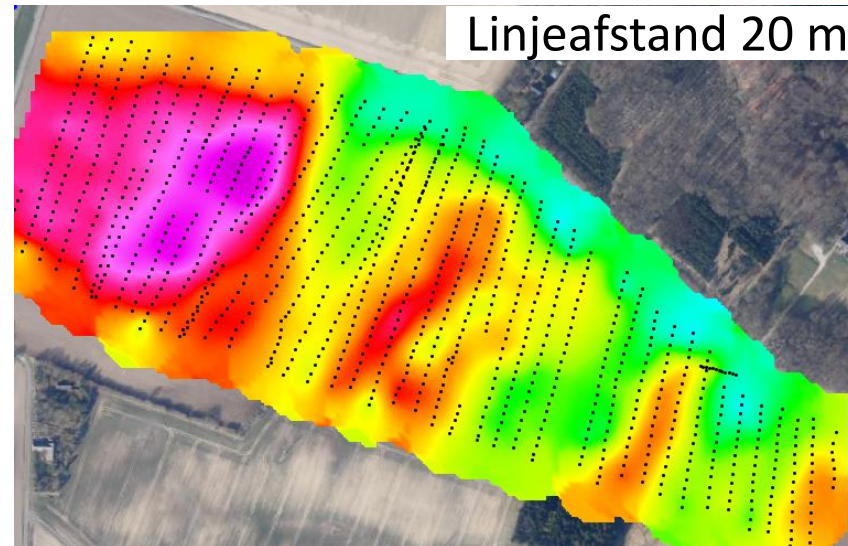
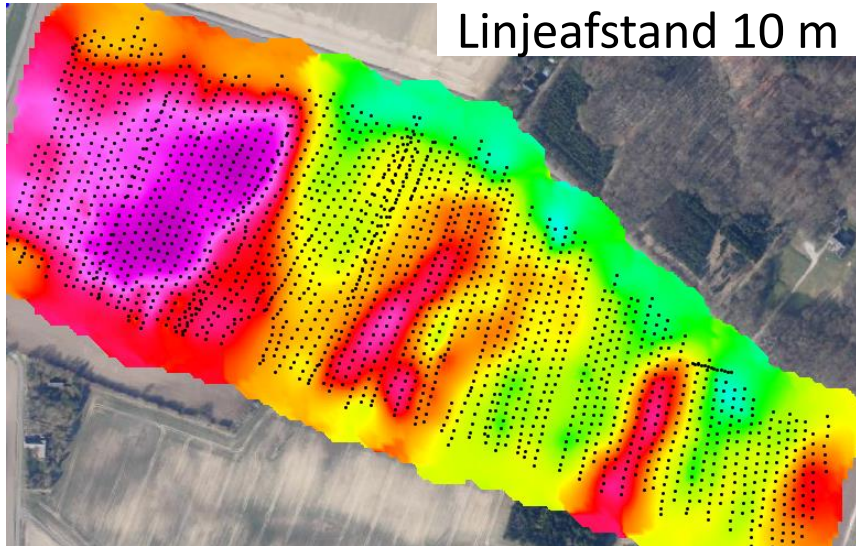
5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning



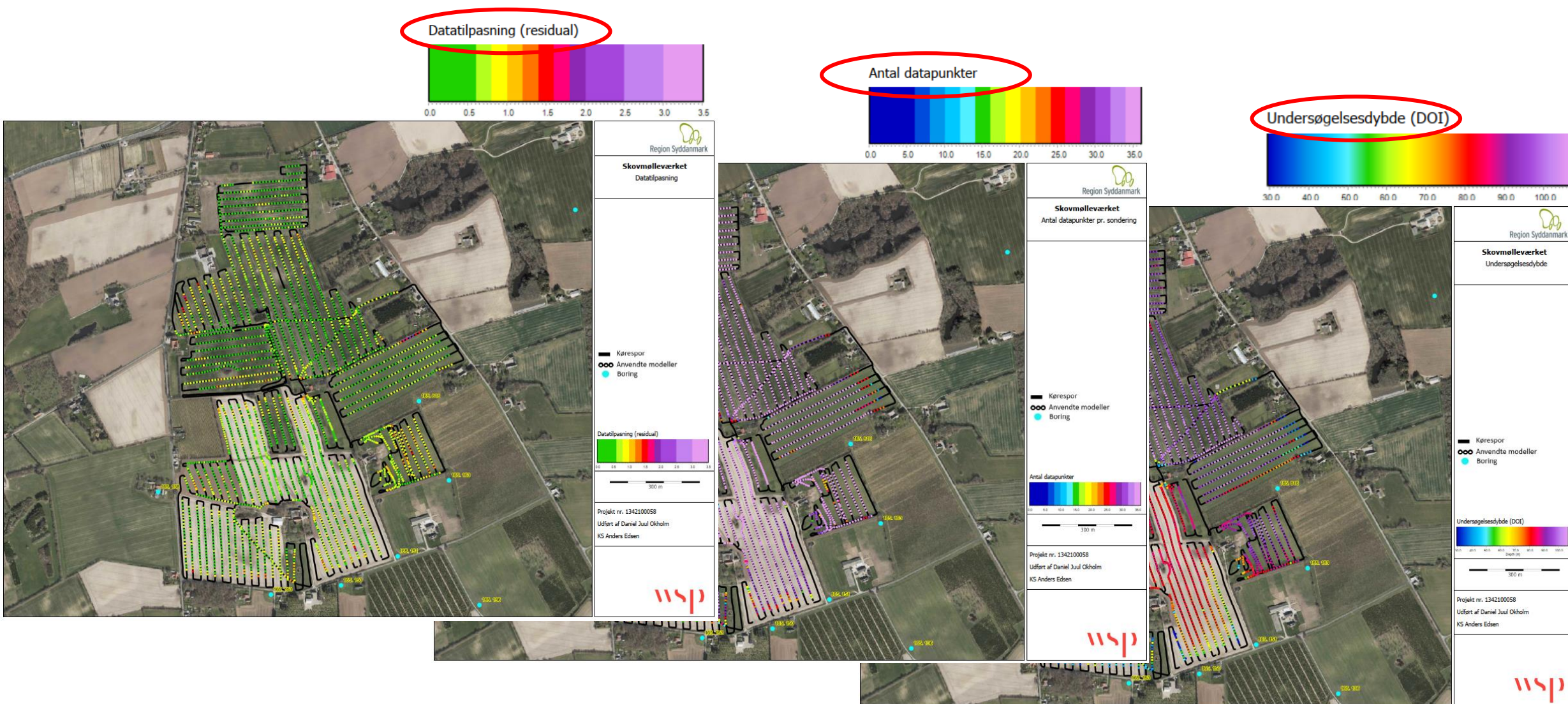
5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

Test af indflydelse fra indsamlingshastighed, linjeafstand og kørselsretning

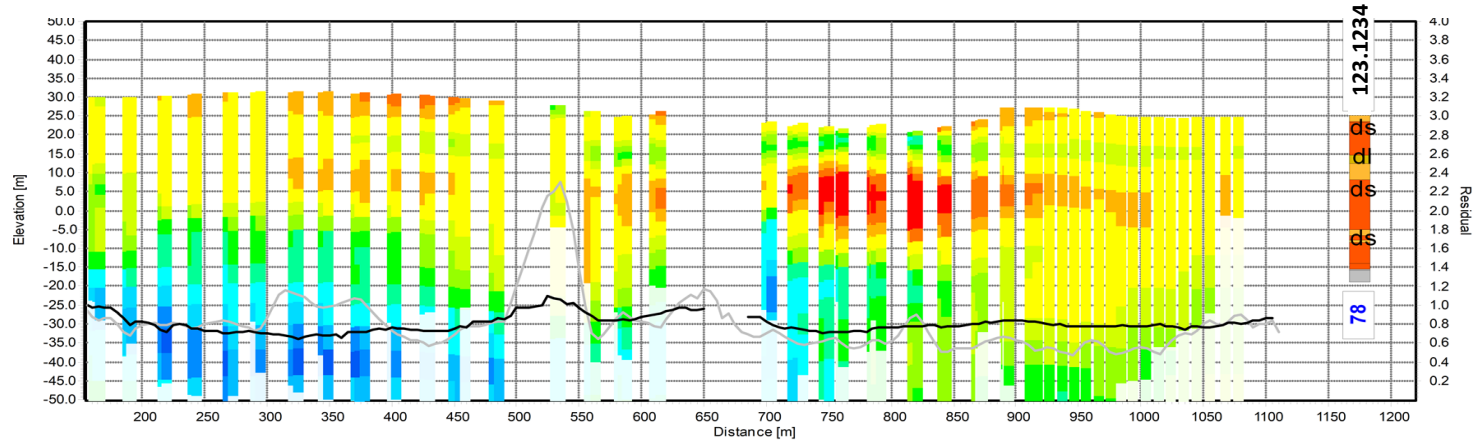


5 x 5 m grid
Kriging
Søgeradius 40 m

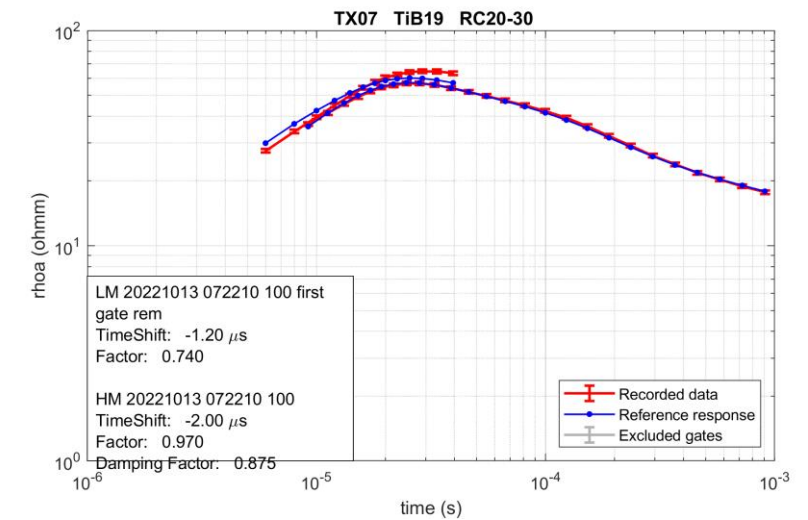
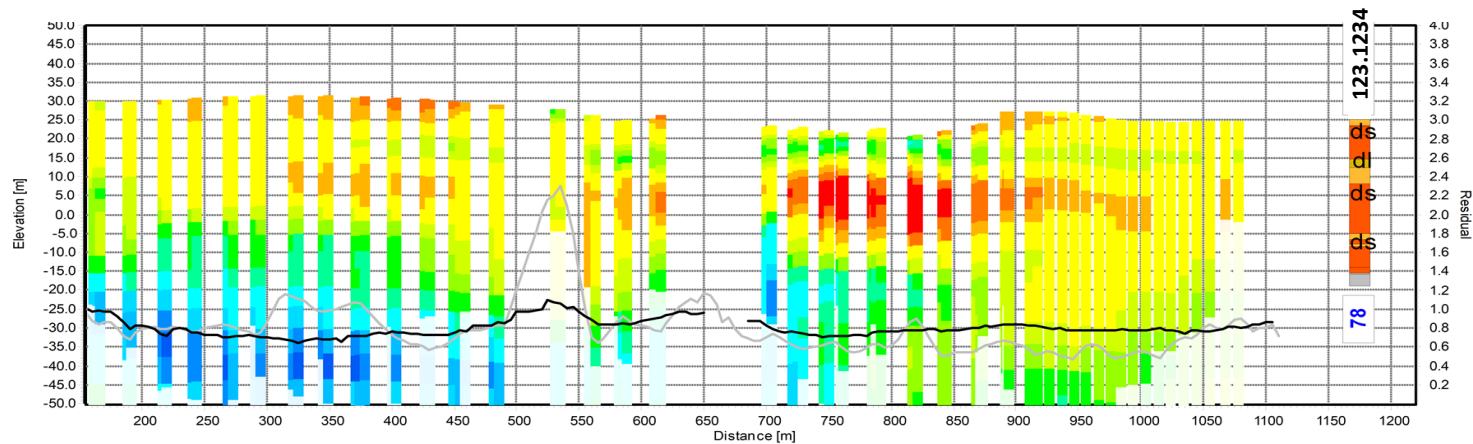
Fokus på datakvalitet - Dokumentation af datakvalitet



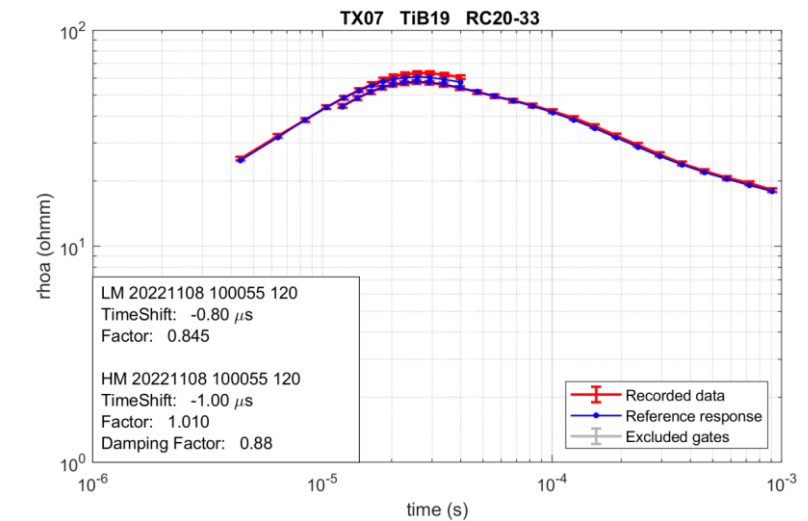
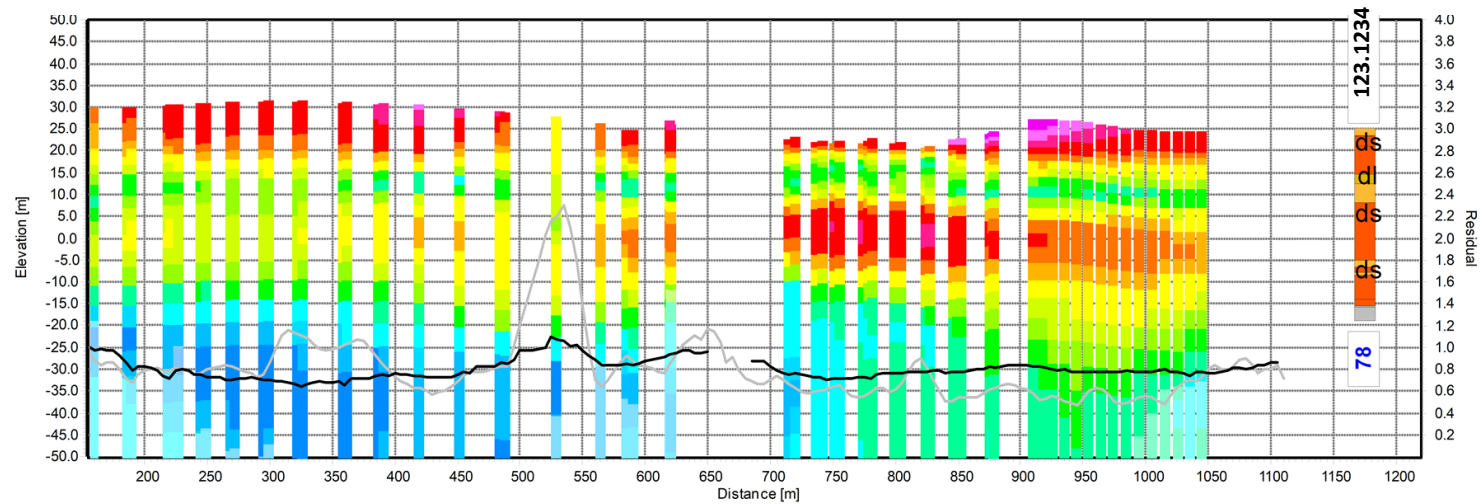
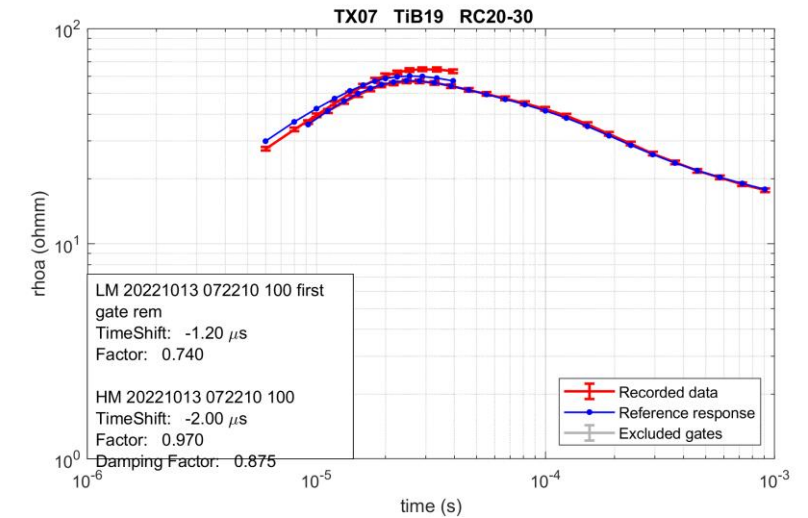
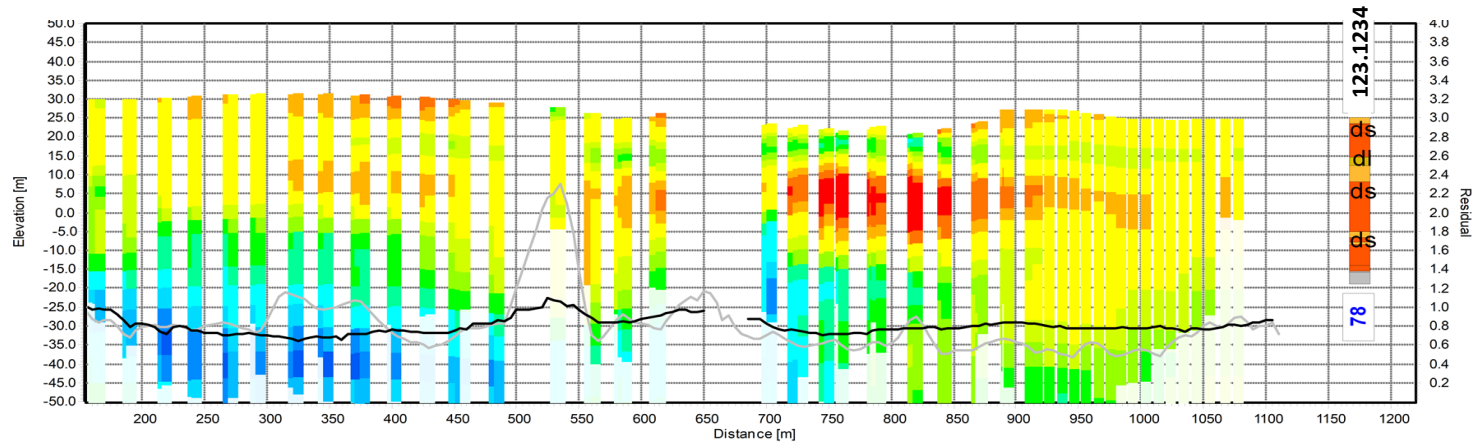
Fokus på datakvalitet - Kalibrering af tTEM – er det nu nødvendigt?



Fokus på datakvalitet - Kalibrering af tTEM – er det nu nødvendigt?



Fokus på datakvalitet - Kalibrering af tTEM – er det nu nødvendigt?



tTEM metoden og opnåede erfaringer omkring dataindsamlingsstrategi og KS-rutiner

- Kort præsentation af tTEM metoden
- Inkludering af tTEM, hvordan kunne arbejdsprocessen se ud?
- Resultater fra test med
 - Indsamlingshastighed,
 - Linjeafstand
 - Kørselsretning
- Fokus på datakvalitet
 - Dokumentation af datakvalitet
 - Kalibrering af tTEM – er det nu nødvendigt?

Tak for opmærksomheden!

Jesper Bjergsted Pedersen (Senior Research Geophysicist)

HydroGeofysik Gruppen, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

Anders Edsen (Fagchef Geofysik)

WSP Danmark



Resultater fra 4 lokaliteter

Punkter for hver lokalitet:

- 1) Introduktion til problemstillingen (Region)
 - 2) Dataindsamling med tTEM (Anders Edsen, WSP)
 - 3) Geologisk og hydrogeologisk tolkning (Flemming Jørgensen, Region Midtjylland)
 - 4) Erfaringer og udbytte ved anvendelsen af tTEM (Region)
- Hanehøjvej ved Skørping (Annette Dohm, Region Nordjylland)
 - Skovlytoften ved Søllerød (Vinni Rønde, Region Hovedstaden)
 - Skovmølleværket ved Svendborg (Tove Svendsen, Region Syddanmark)
 - Voldum ved Randers (Jesper Simensen, Region Midtjylland)





REGION NORDJYLLAND
– i gode hænder

Hanehøjvej



Hanehøjvej

- Overvejelser til udvidet undersøgelse



REGION NORDJYLLAND

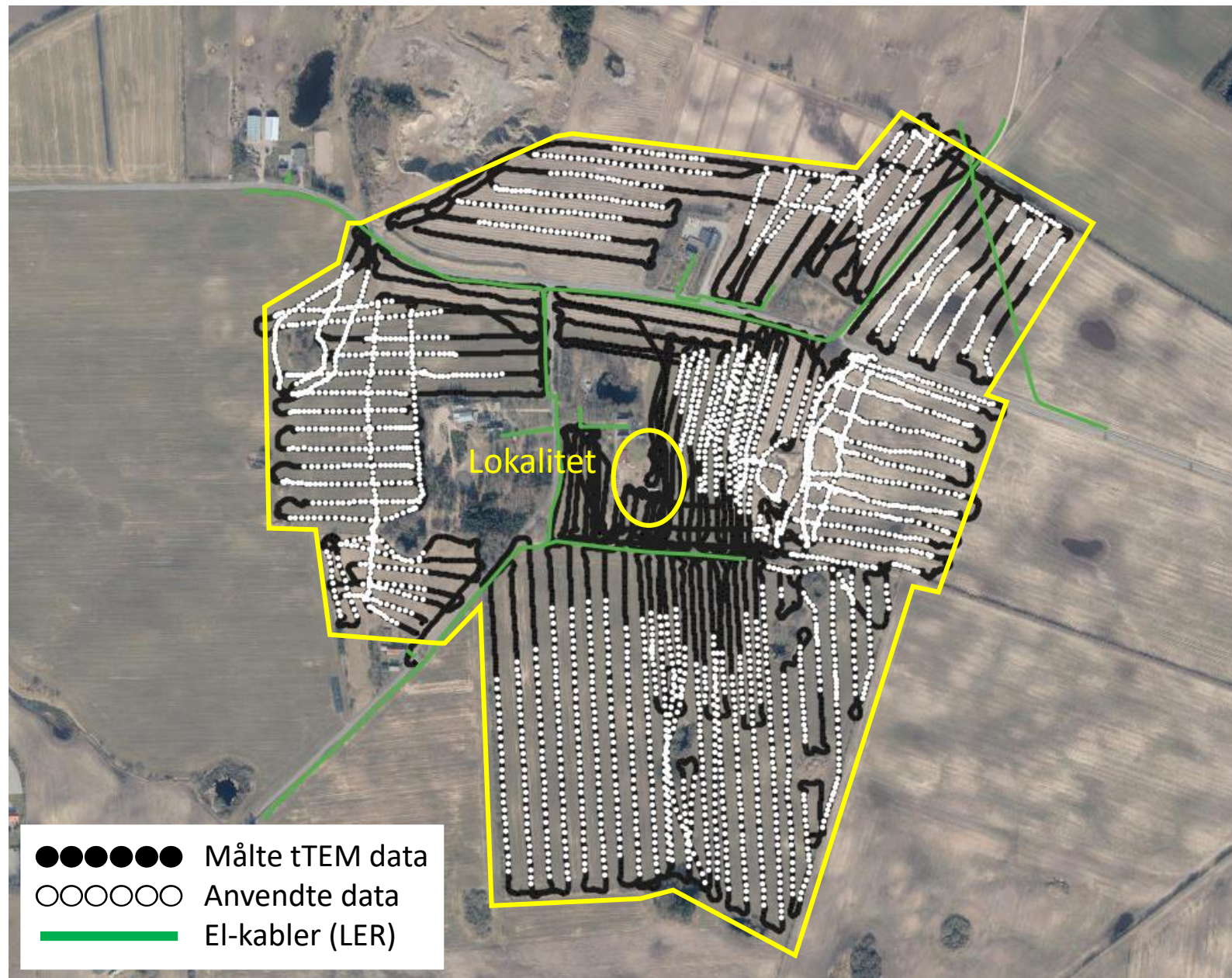
- To lossepladser mellem to delvist overlappende indvindingsoplande
- Ingen grundvand eller lerlag truffet 20 mut.
- Måske, måske ikke et beskyttende lerlag
- t-TEM til forhåbentlig afklaring
- VV-boringer med ca. 230 m afstand (to boringer med ca. 45 m imellem)
- Lerlag i VV boringer (13+6 m og 12 m+1,5 m)
- Øverste lerlag 24-28 mut.
- VV ligger ca. 14 meter højere end nærmeste losseplads



Hanehøjvej

tTEM kortlægning

- Kortlægningsområde på 65 ha
- Data indsamlet på en dag den 19. oktober 2021

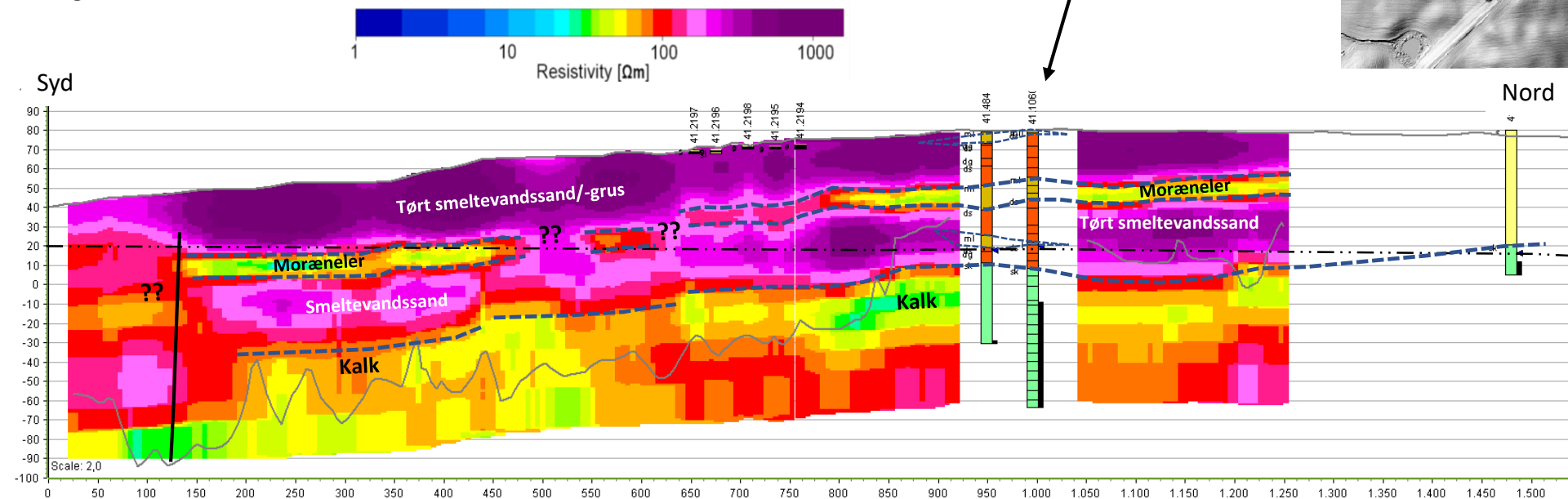


Hanehøjvej

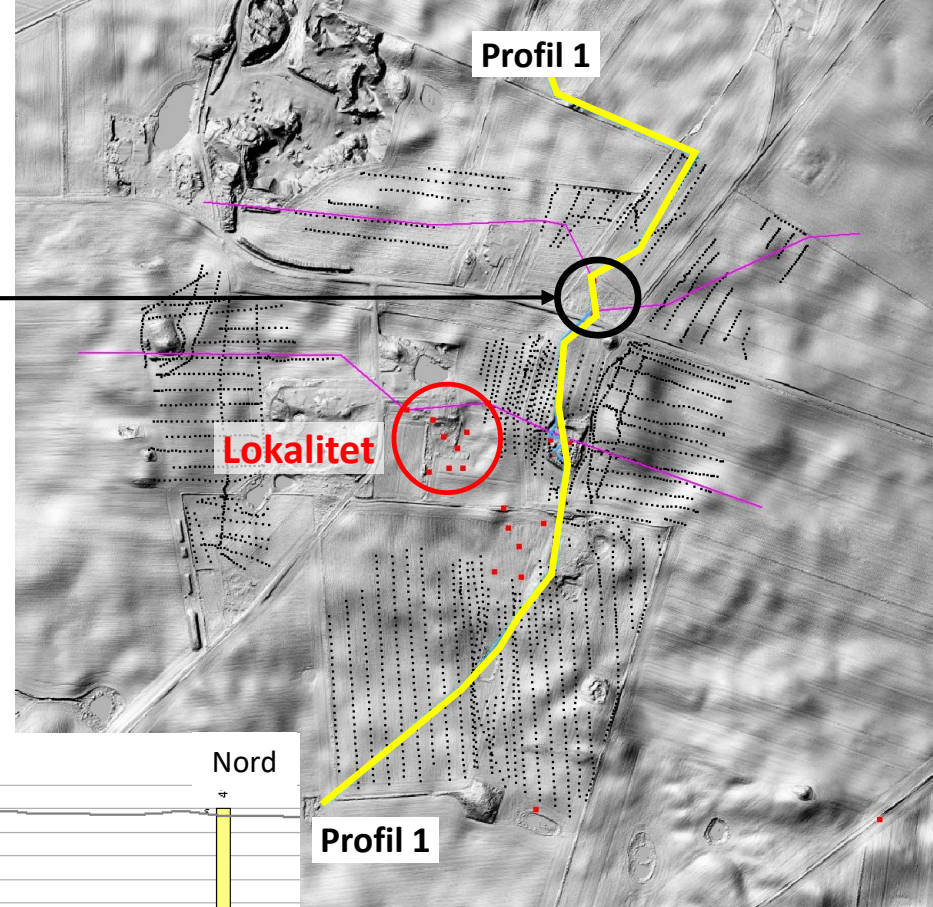
Geologisk tolkning

- Kalkoverfladen
- 10 m tykt lag af moræneler
- Huller/brud på lerlaget

Profil 1



Vandindvinding/
vandværk



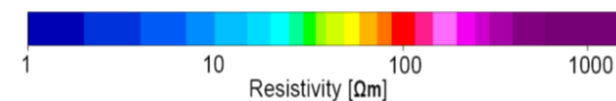
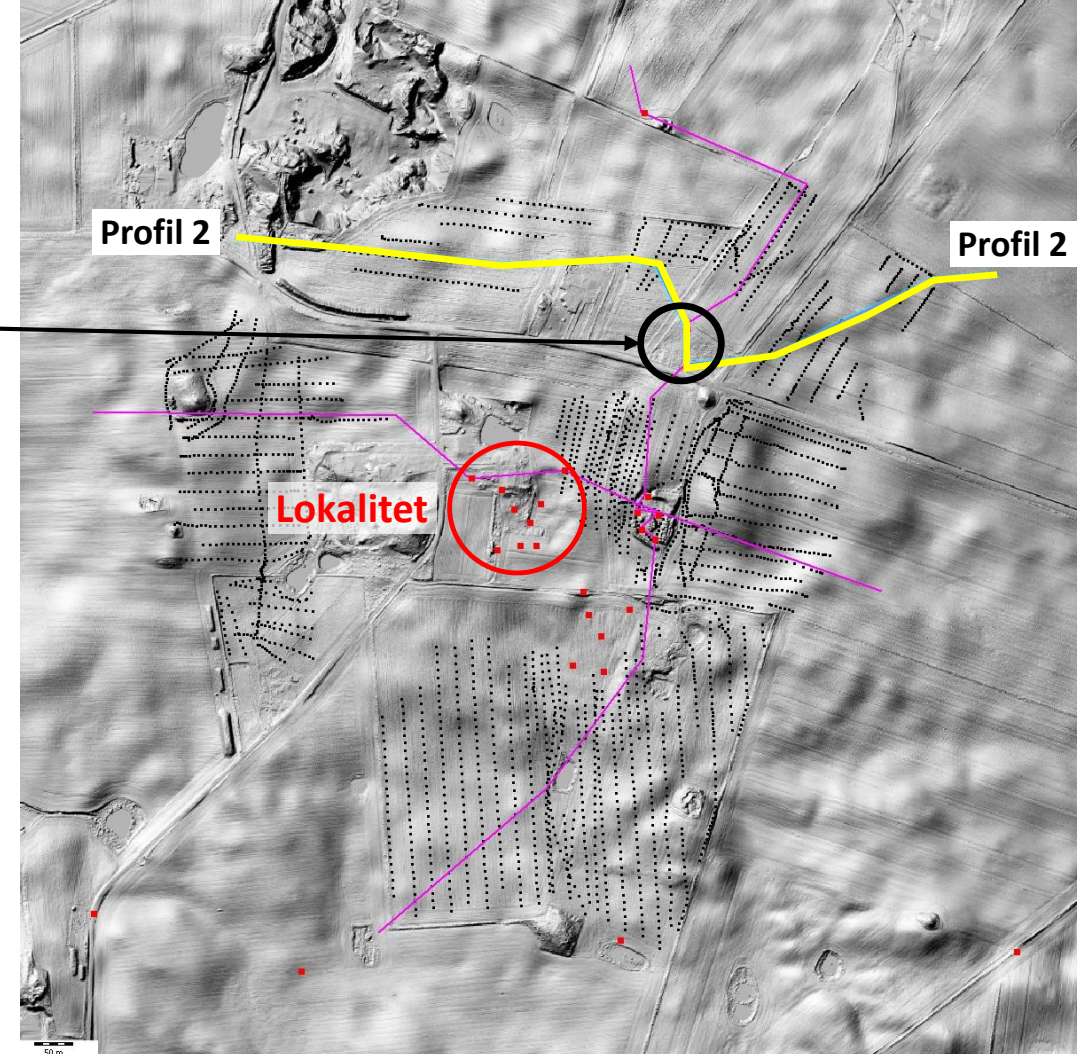
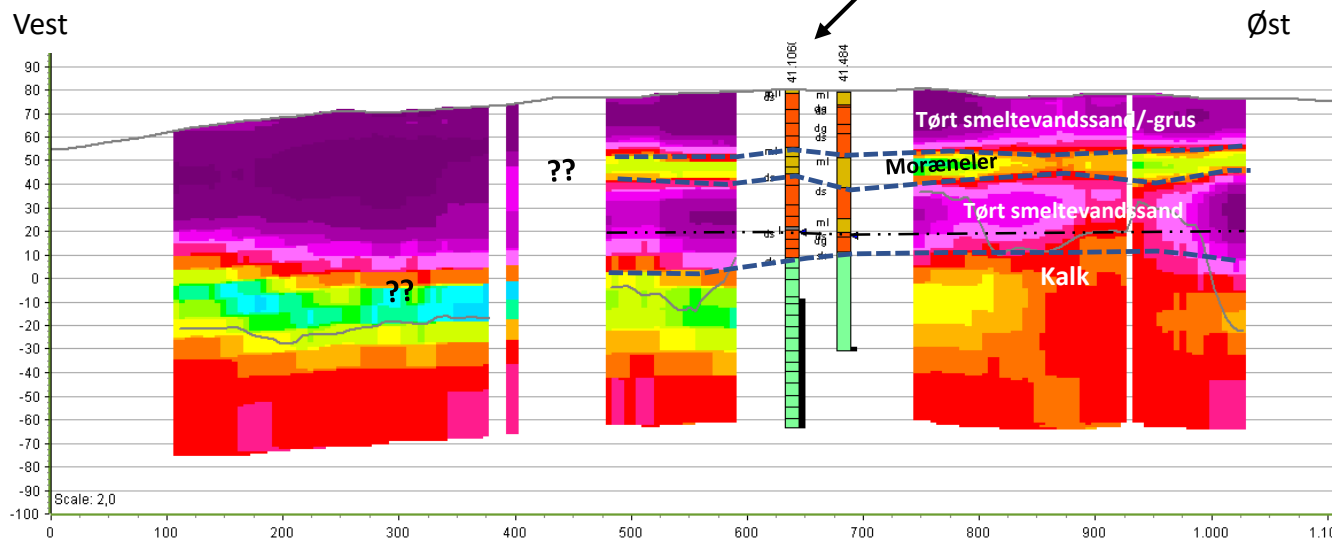
Hanehøjvej

Geologisk tolkning

- Lerlaget forsvinder mod vest

Vandindvinding/
vandværk

Profil 2

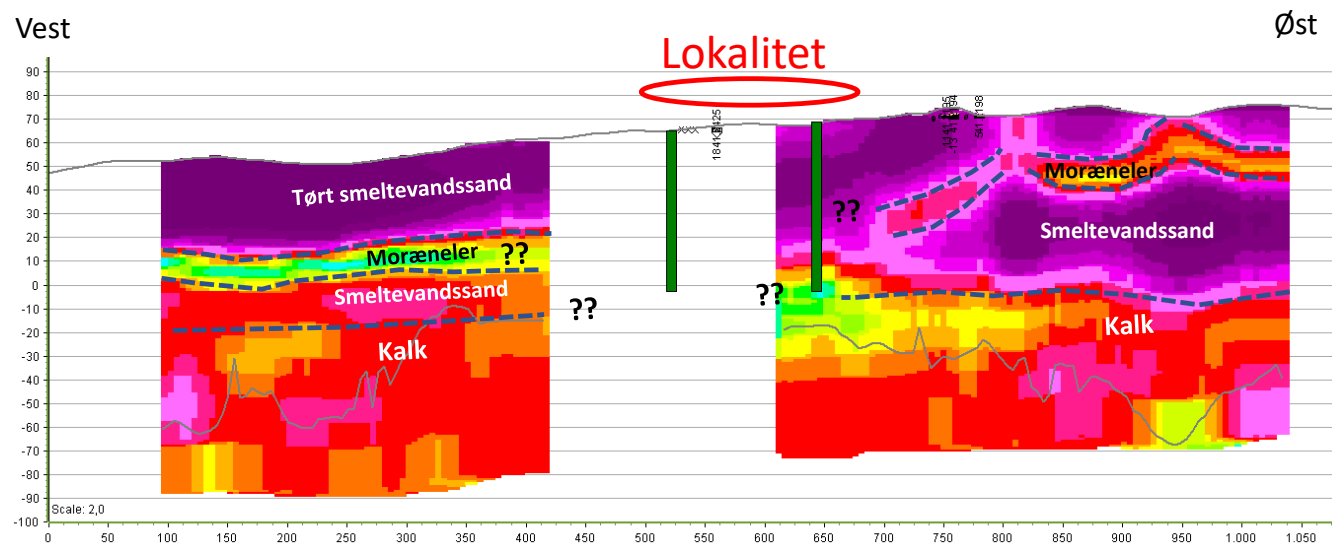


Hanehøjvej

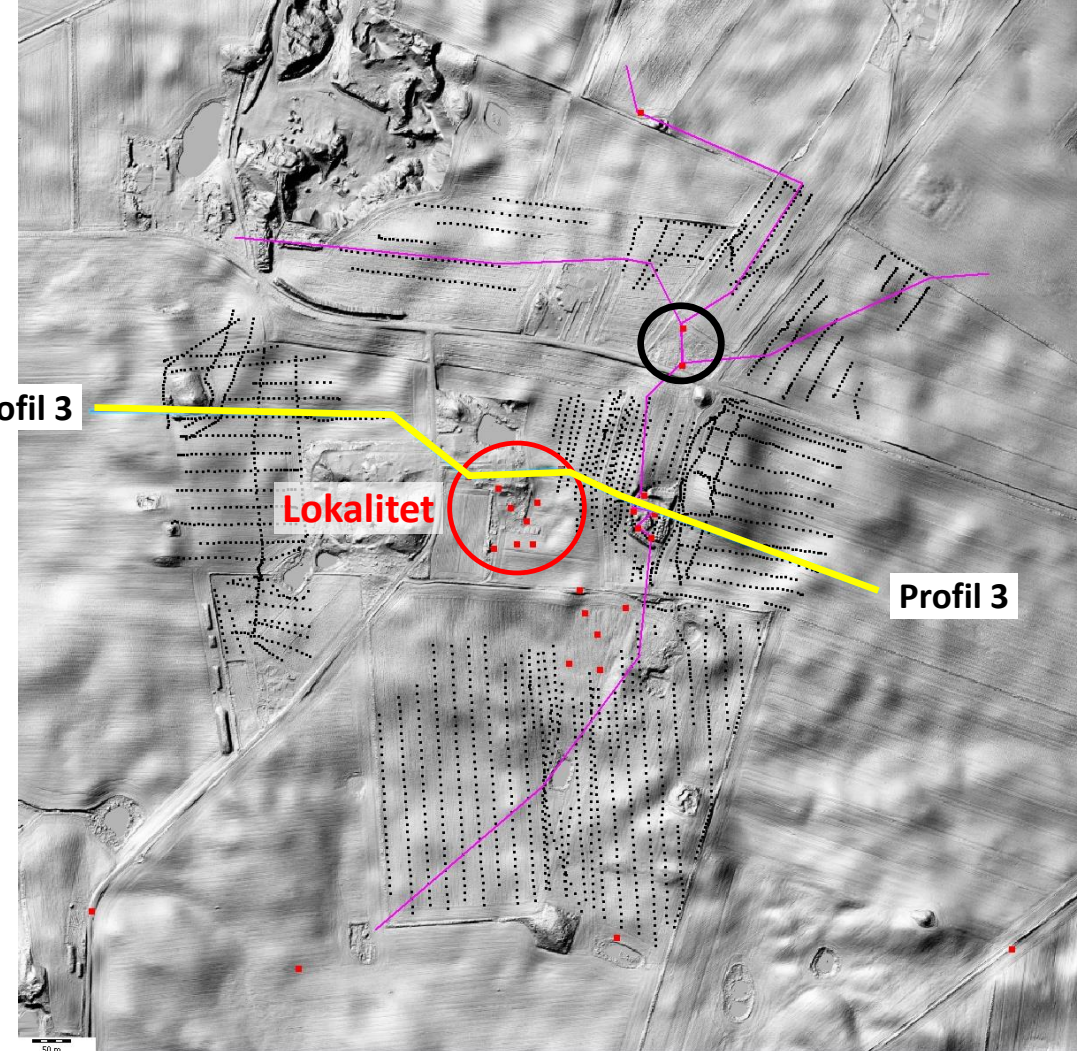
Geologisk tolkning

- Lerlaget er forstyrret øst for lokaliteten
- Forsvinder under lokaliteten

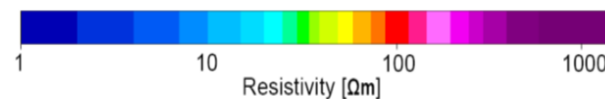
Profil 3



Profil 3



Profil 3

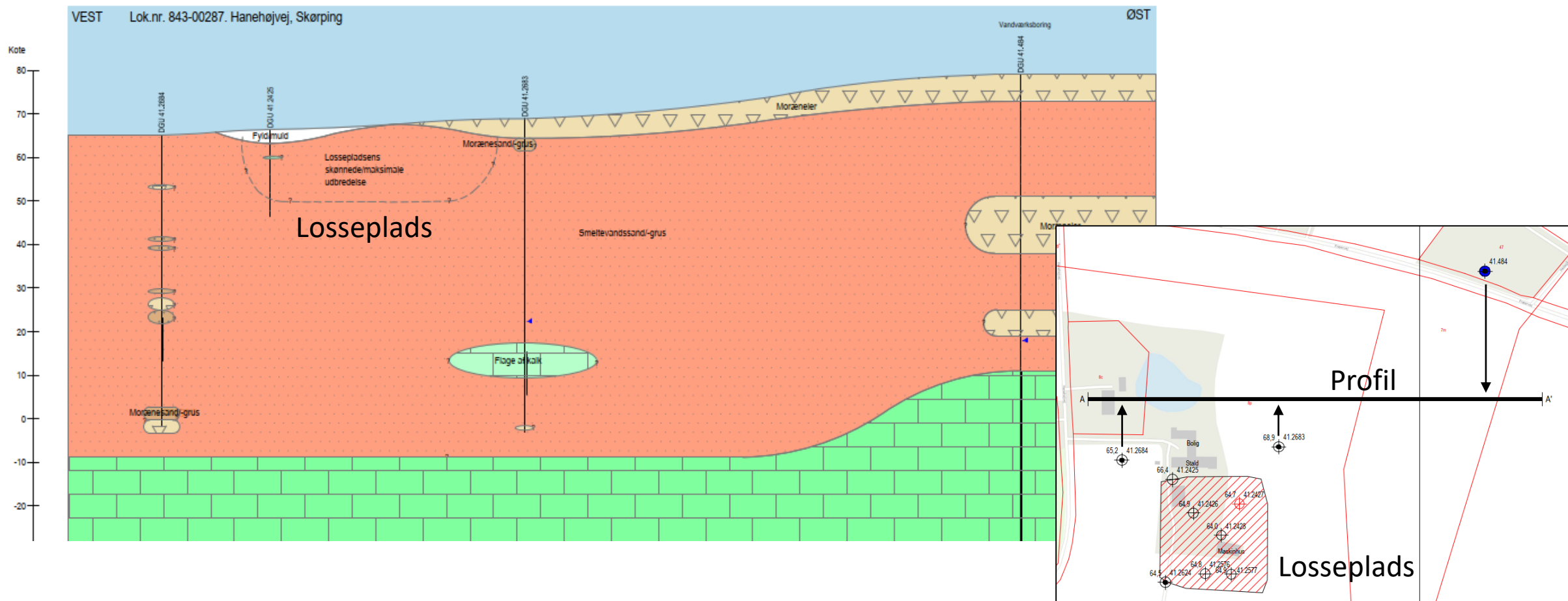


Hanehøjvej

Foreløbige resultater af boringer



REGION NORDJYLLAND



Hanehøjvej

Hvad fik vi ud af t-TEM ?

- Vi blev forberedt på, at der nok ikke var et lerlag og hvis det var der, var det ssv. tyndt og i hvilken ca. dybde.
- Det blev brugt til valg af boremetode.
- Sag ikke afsluttet, der skal tages vandprøver.

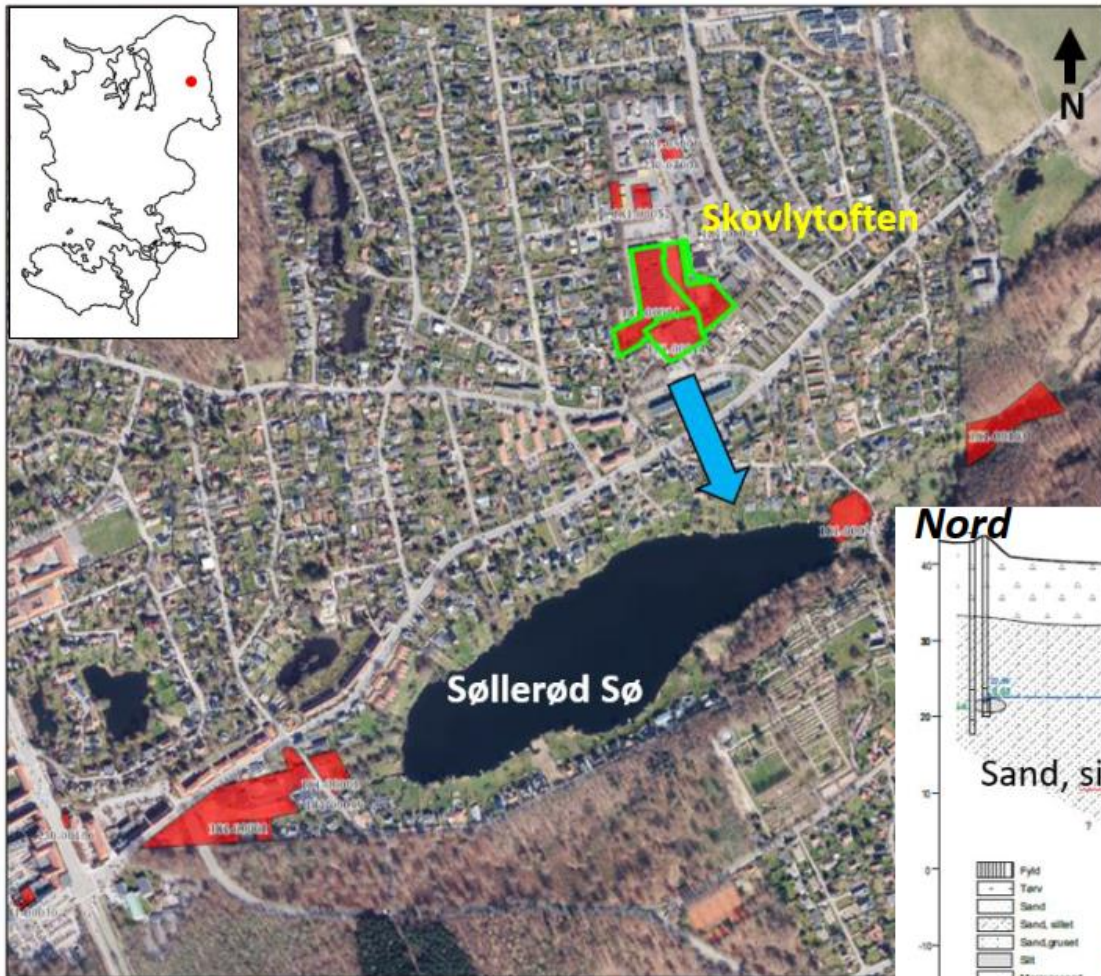


REGION NORDJYLLAND



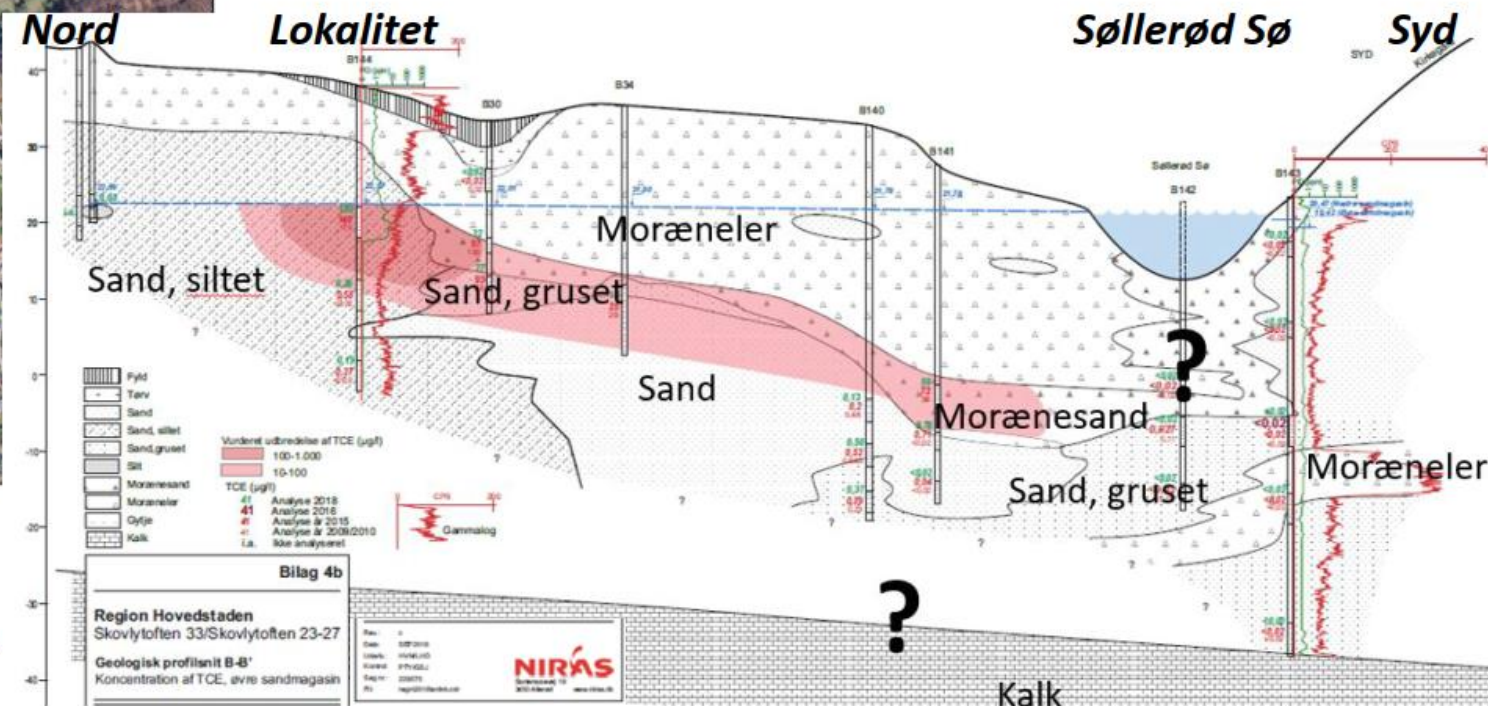
Skovlytoften





Skovlytoften, Region Hovedstaden

- Aktiviteter med fremstilling af bl.a. køleskabe fra 1958-1968 → Forurening med TCE
- Fane bestående af TCE og nedbrydningsprodukter
- Forureningsflux: 200 – 800 g/år

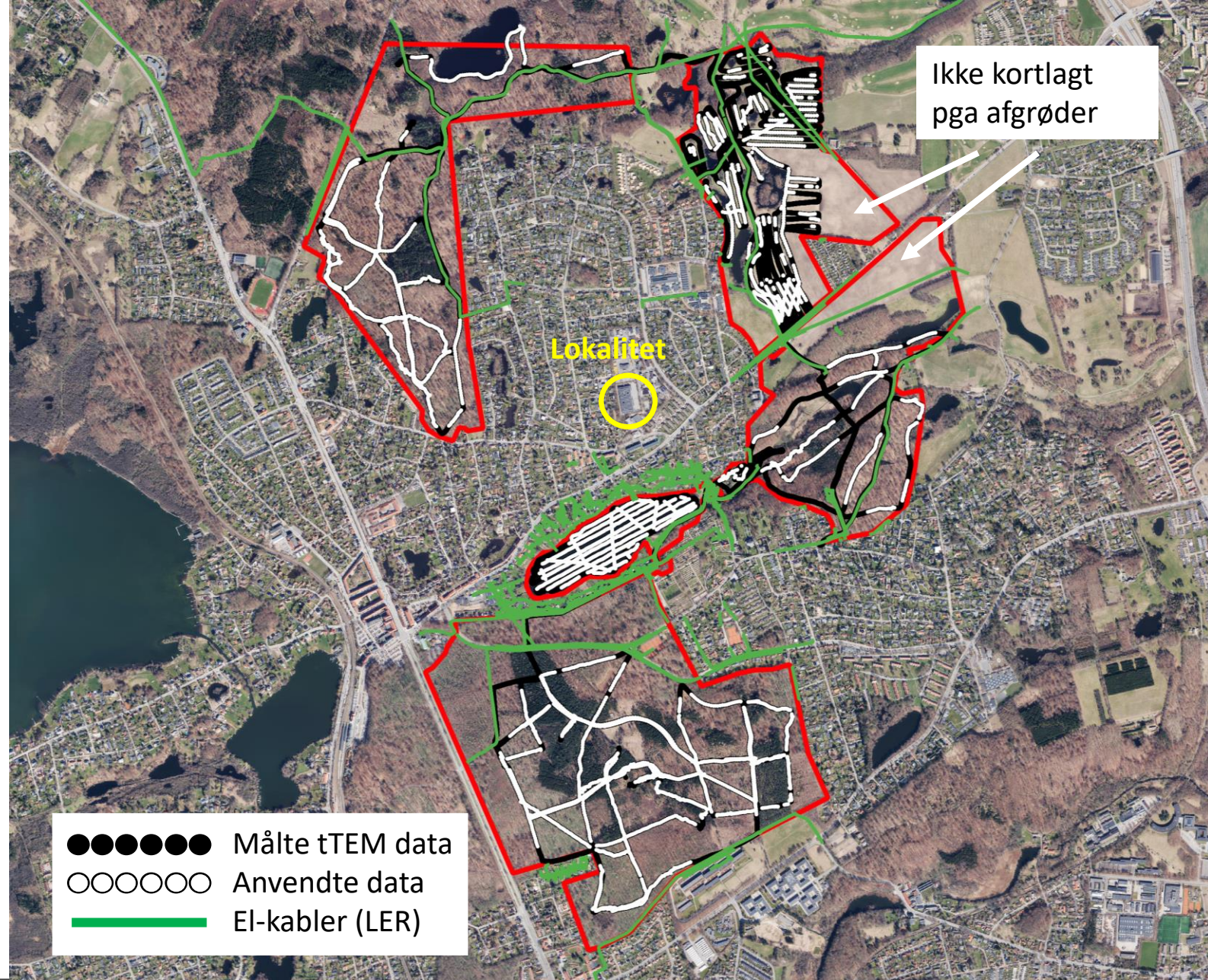


Kilde: Undersøelsesrapport, Skovlytoften 23-27+33, udarbejdet af NIRAS, 2019 (modificeret figur)

Skovlytoften

tTEM kortlægning

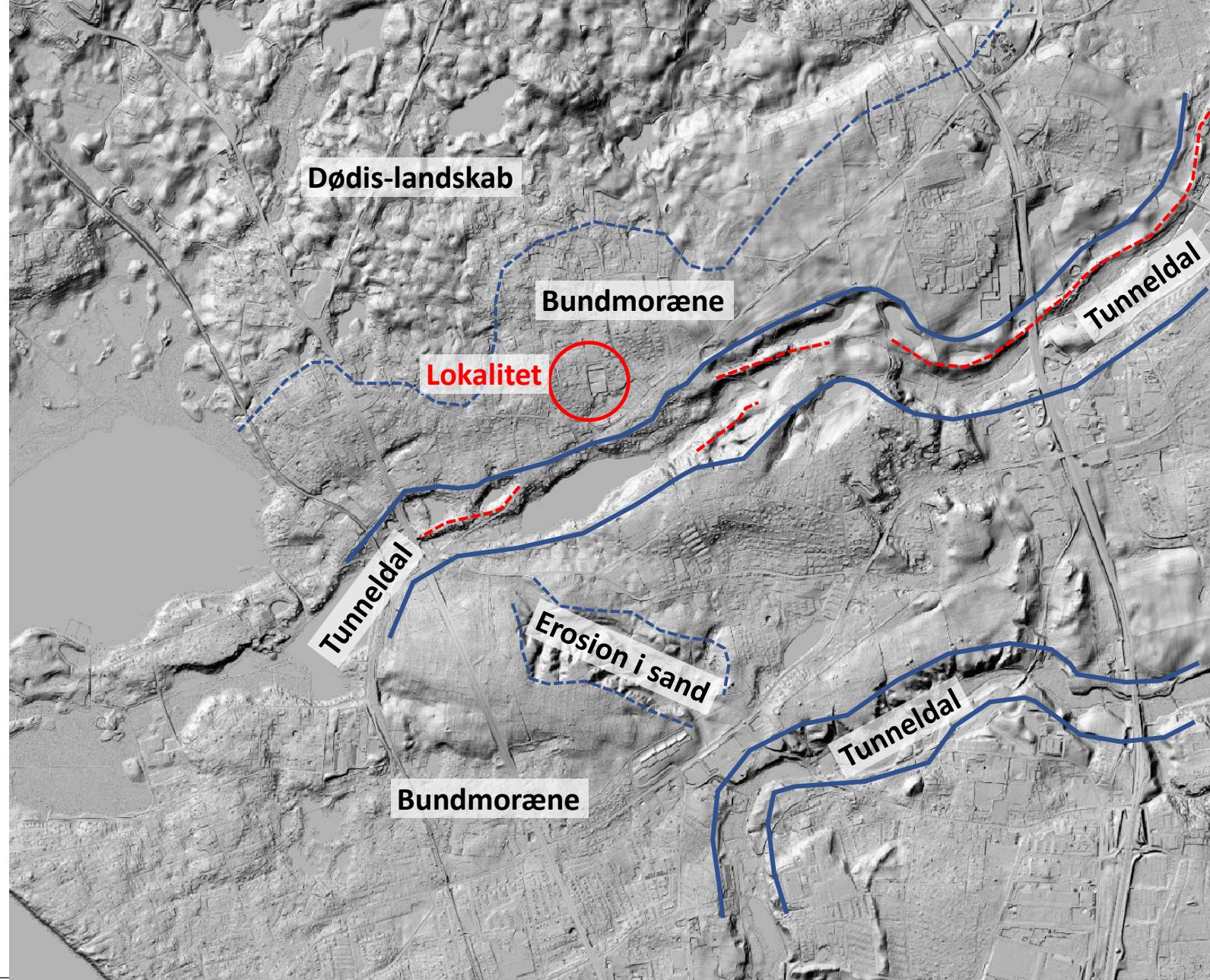
- Kortlægningsområde på i alt 370 ha
 - 280 ha i skov og 13 ha på Søllerød sø
- Data indsamlet på 2 dage 15. og 16. juni 2022



Skovlytoften

Geologisk tolkning

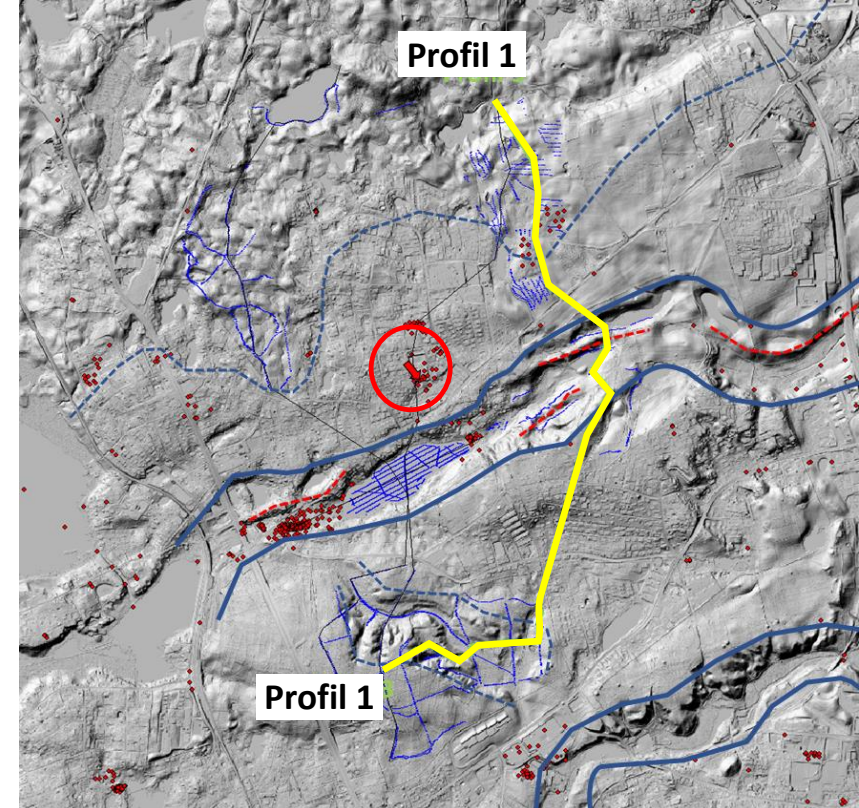
- Landskab
- Tunneldale
- Dødislandskab
- Bundmoræne



Skovlytoften

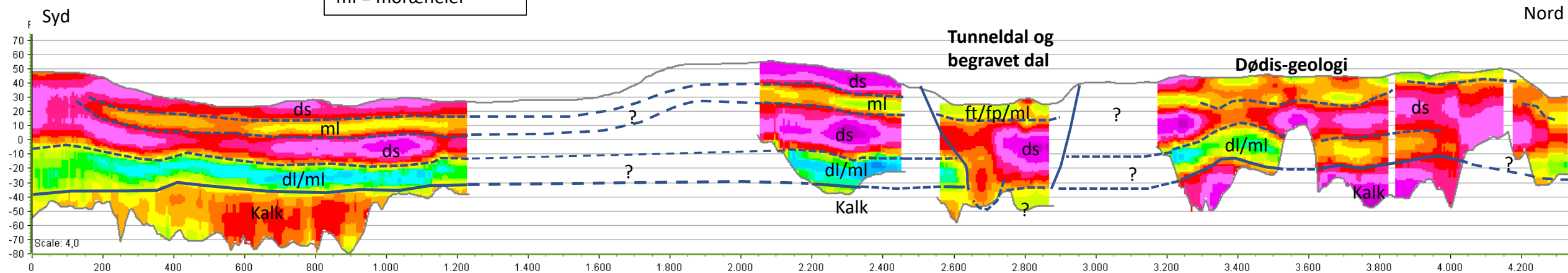
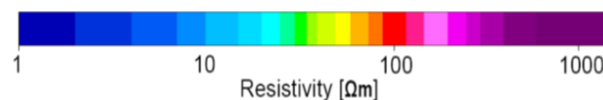
Geologisk tolkning

- Gennemgående lerlag (moræneler)
- Kalken beskyttet af lerlag
- Begravet dal under tunneldal – gennemskærer lerlag



Profil 1

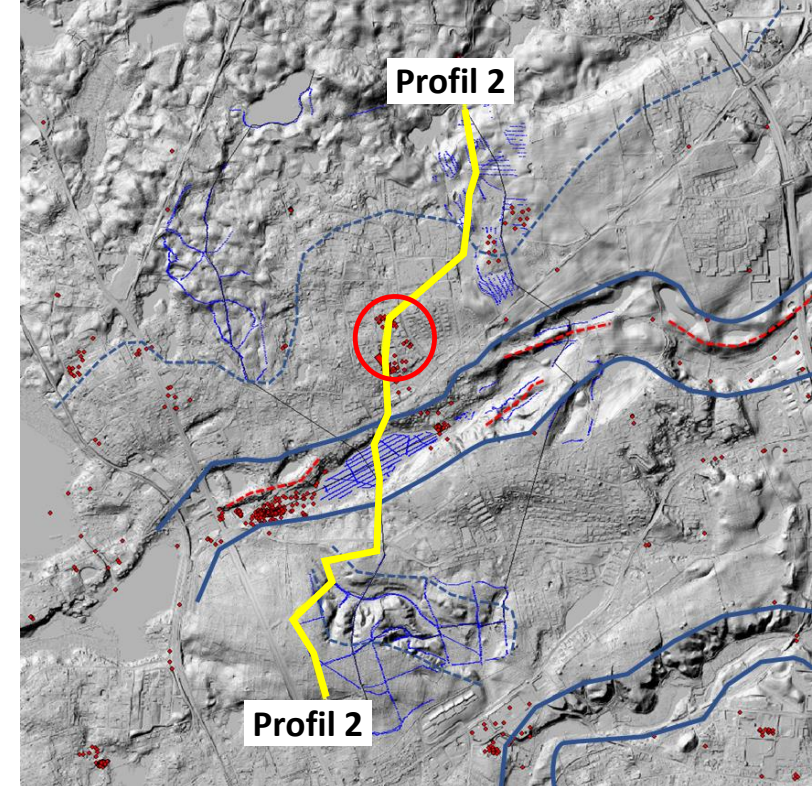
ds = smeltevandssand
dl = smeltevandsler
ml = moræneler



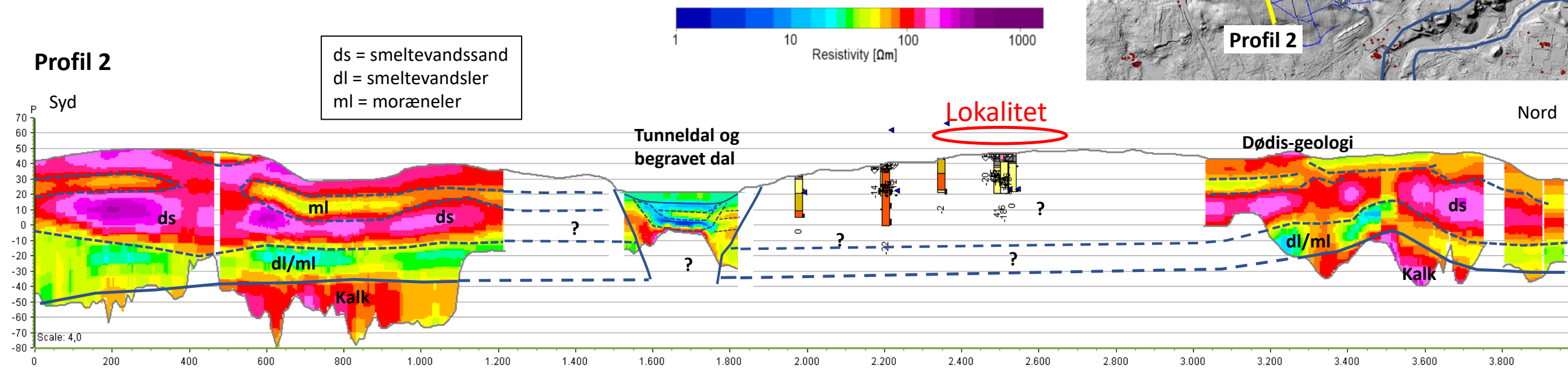
Skovlytoften

Geologisk tolkning

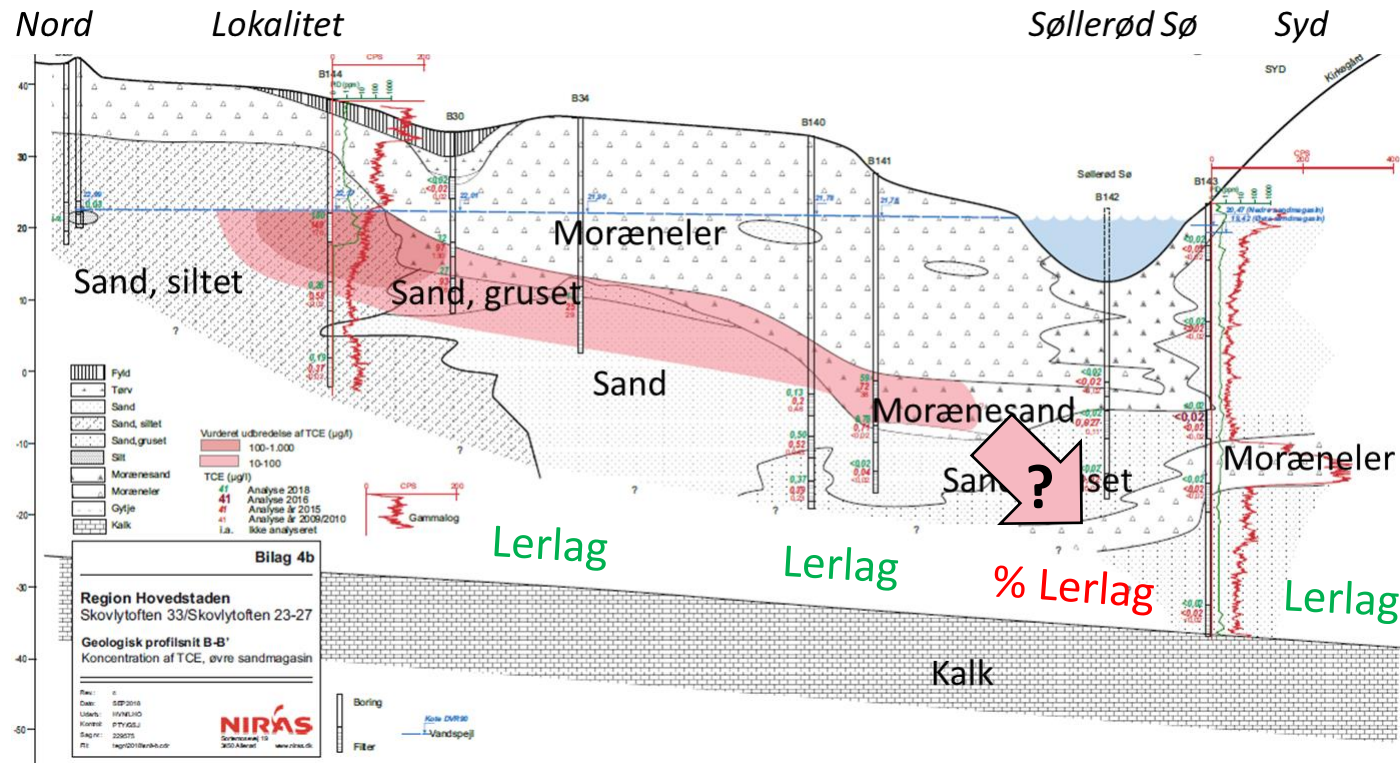
- Gennemgående lerlag (moræneler) forventes ved lokalitet
- Lerlaget forventes også at være gennemskåret syd for lokaliteten
- Organiskholdige søaflejringer under Søllerød Sø



Profil 2



Hvad kan vi bruge tTEM-resultaterne til?



Kilde: Undersøgelserapport, Skovlytoften 23-27+33, udarbejdet af NIRAS, 2019 (modificeret figur)

Vurdering af grundvandsrisiko

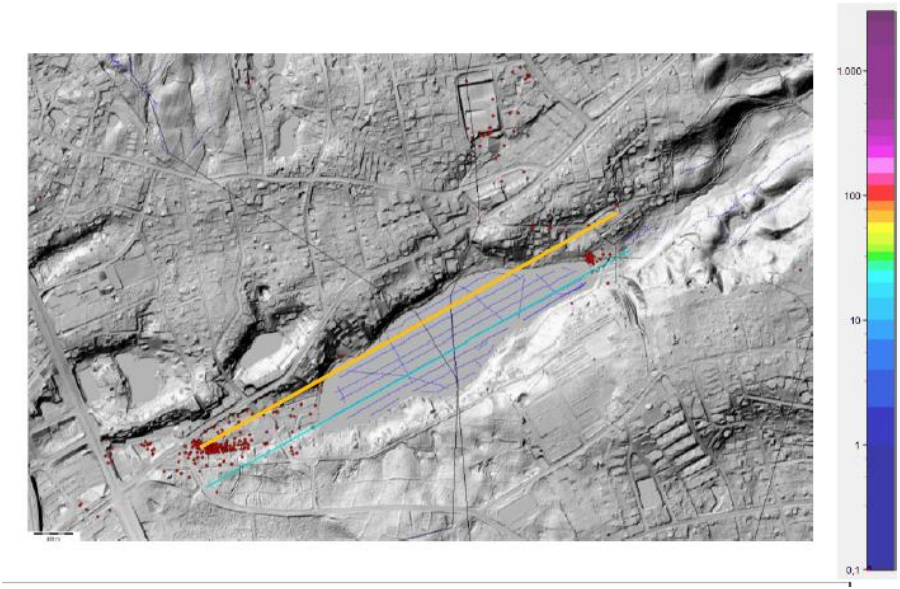
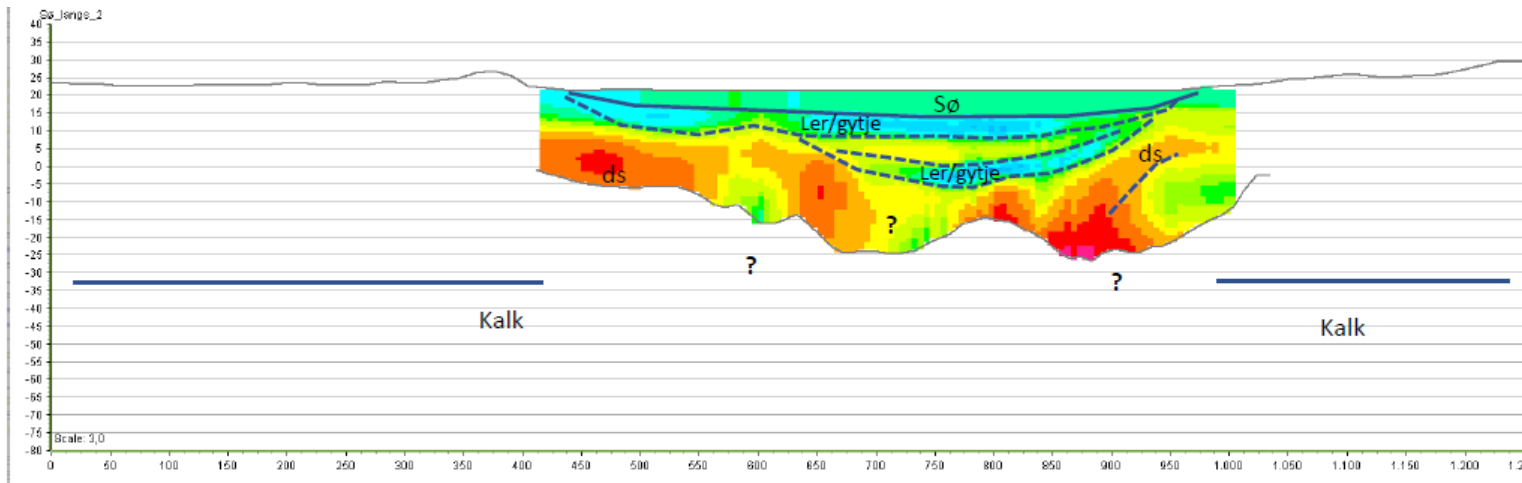
- Lerlaget over kalken betyder bedre beskyttelse af det primære magasin
- Særlig sårbarhed langs begravet dal
- Gradientforholdene er vigtige for at vurdere risiko

Hvad kan vi bruge tTEM-resultaterne til?

Vurdering af overfladevandsrisiko

- Dobbelt ler/gytjelag under søbunden → gunstige forhold for anaerobisk reduktiv dechlorering

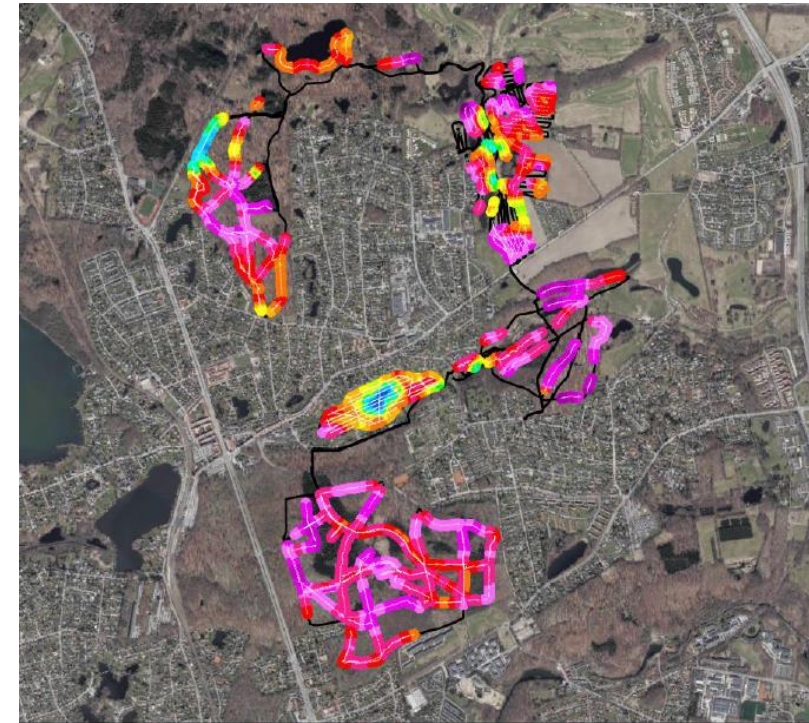
→ Eventuel fluxreduktion + risiko for dannelse af vinylklorid



Vigtigste læring

tTEM resultaterne har givet os...

- ...information om geologien i et stort område bl.a. under Søllerød Sø for begrænsede økonomiske midler
- ...bedre konceptuel forståelse af mulige scenarier for forureningsspredning
- ...inspiration til videre undersøgelser - pejling af kalkboringer i området er relevant



Partnerskab ved Skovmølleværket, Svendborg

DMS i DGU 165.151



Region Syddanmark



Region Syddanmark



Partnerskab ved Skovmølleværket, Svendborg

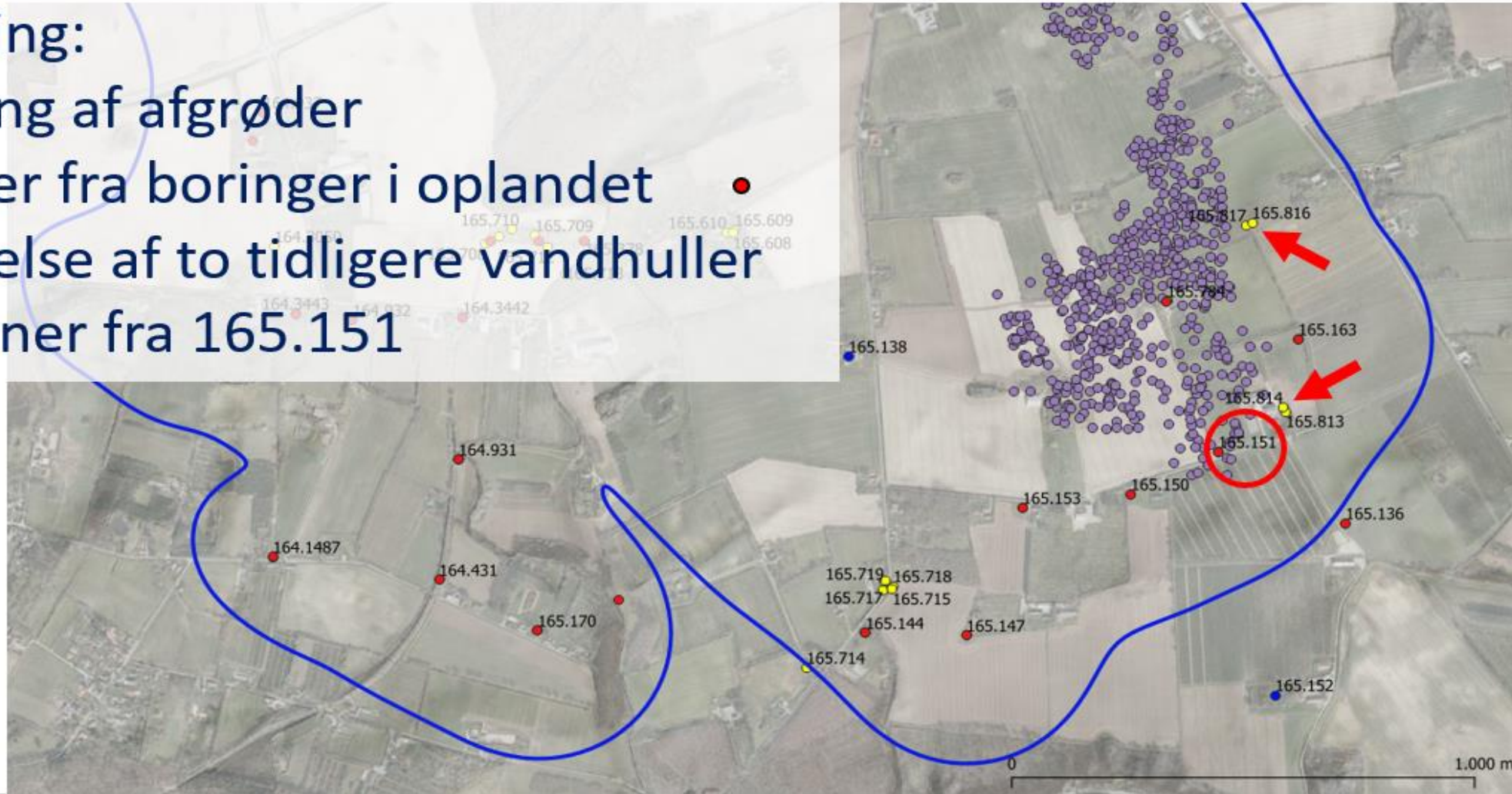
DMS i DGU 165.151



Region Syddanmark

Kildeopsporing:

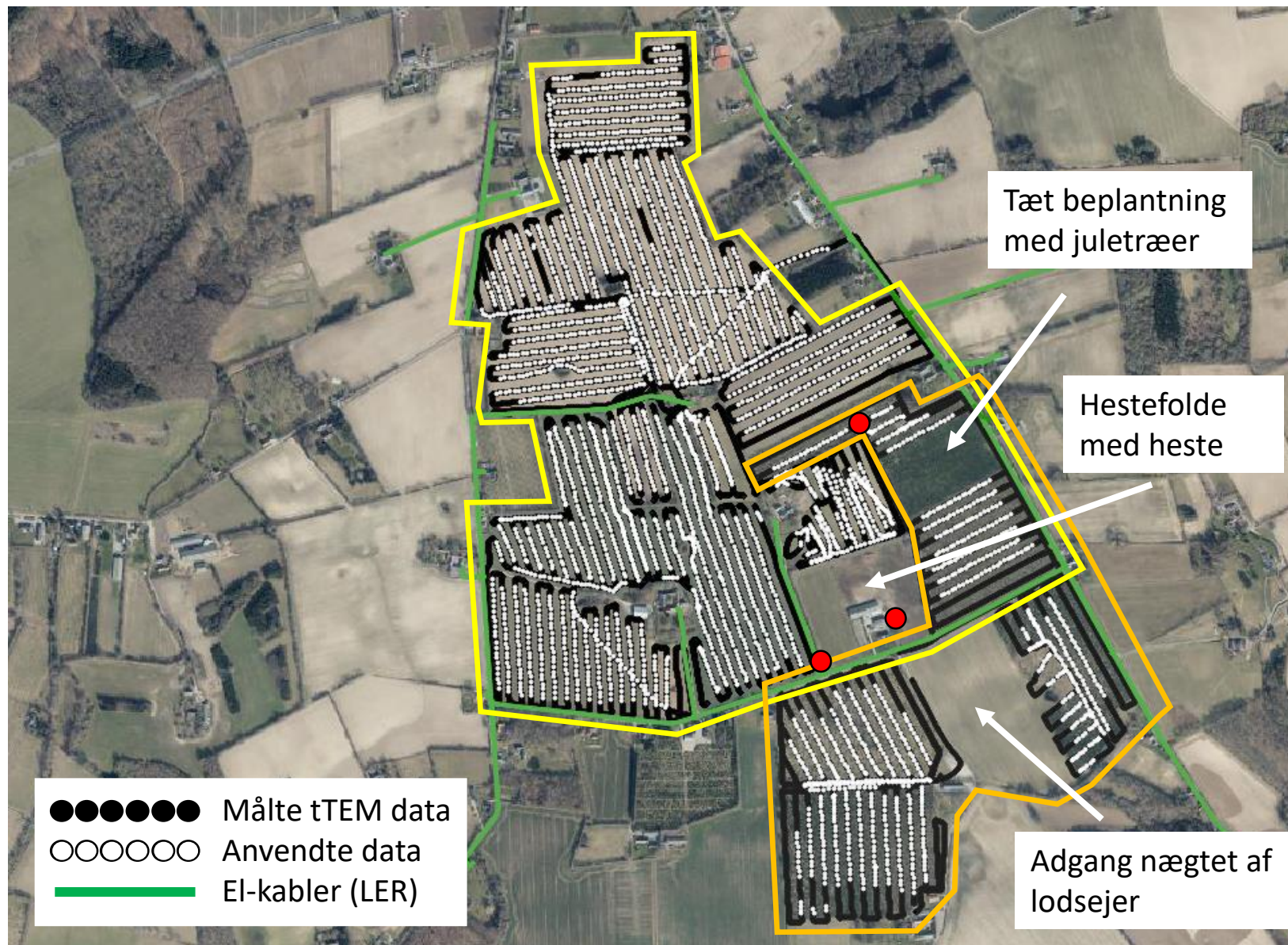
- Kortlægning af afgrøder
- Vandprøver fra boringer i oplandet
- Undersøgelse af to tidligere vandhuller
- Partikelbaner fra 165.151



Skovmølleværket

tTEM kortlægning

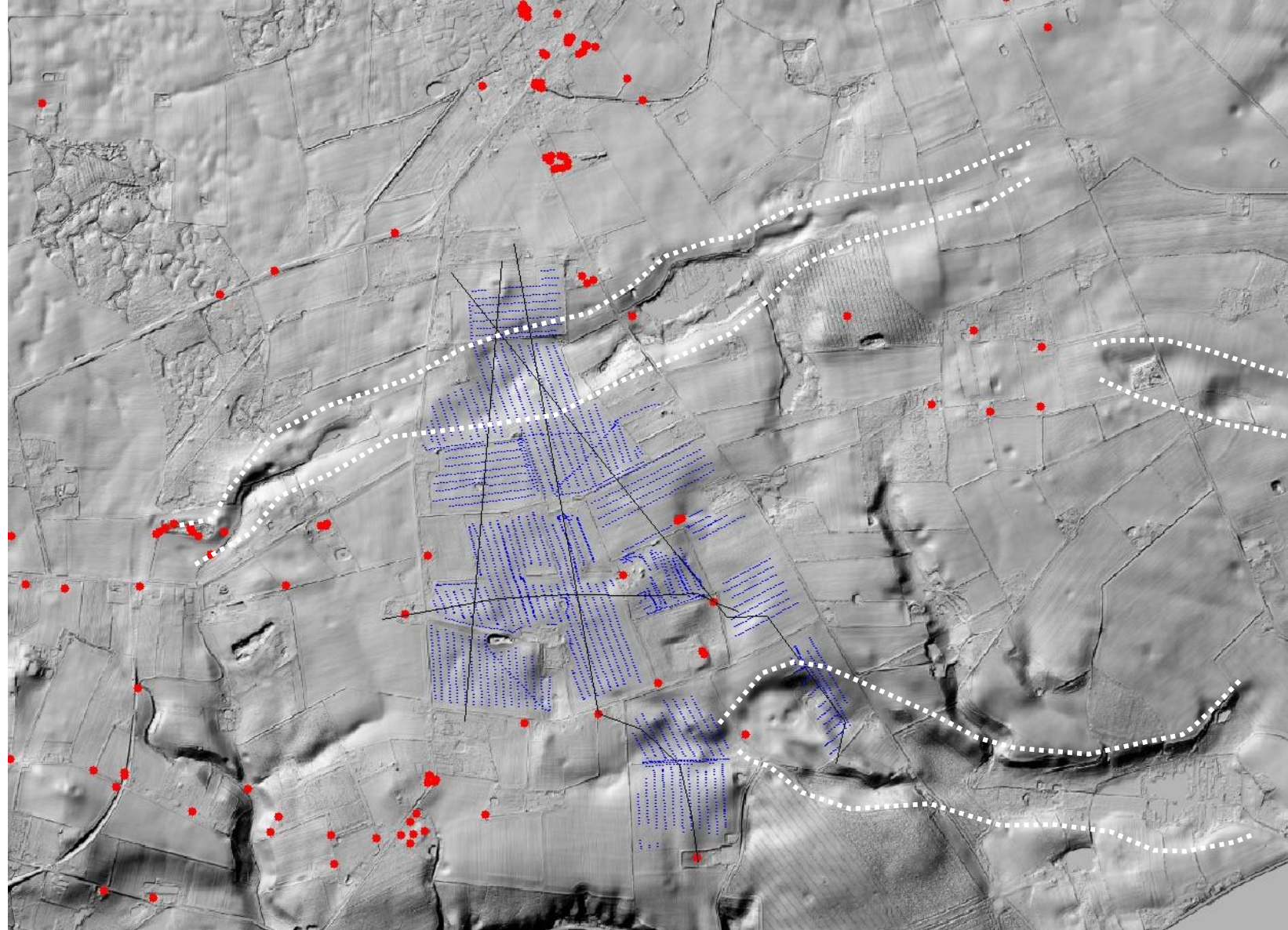
- Kortlægningsområde på 102 ha (gul) + 35 ha (orange) i alt 124 ha
- Data indsamlet på 1 + 1 dage henholdsvis 18. november 2021 og 19. maj 2022



Skovmølleværket

Geologisk tolkning

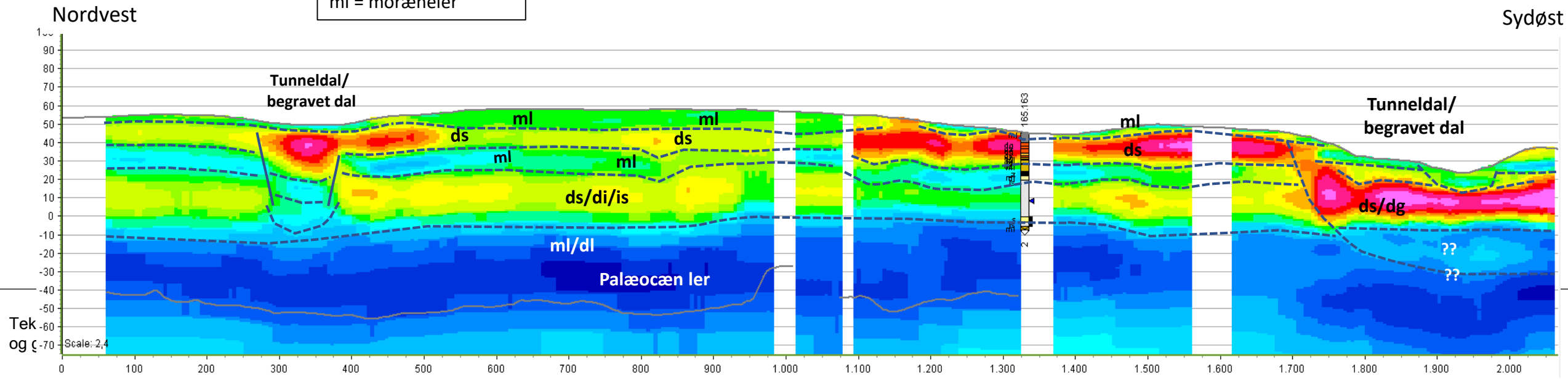
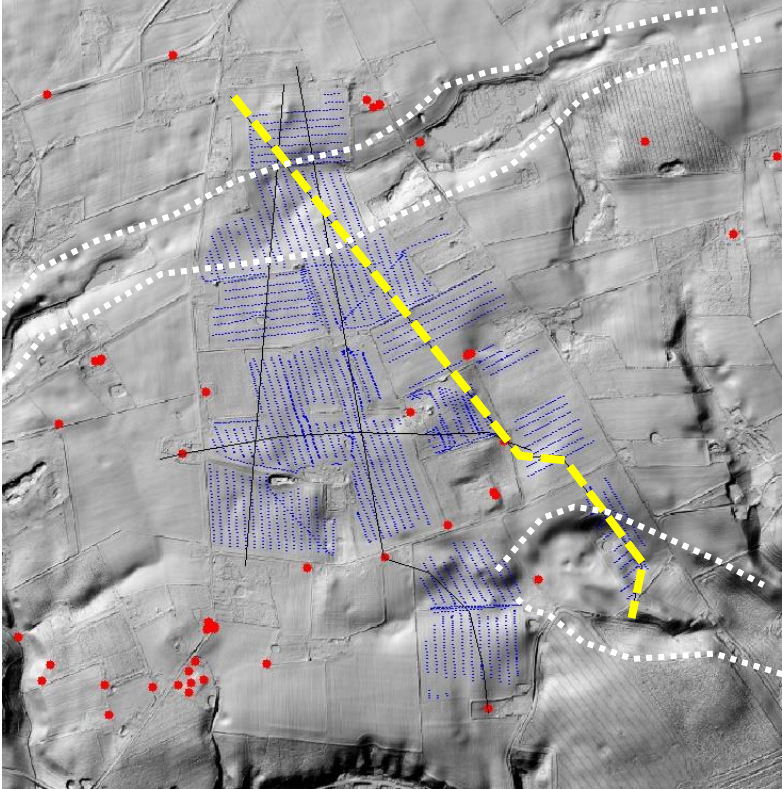
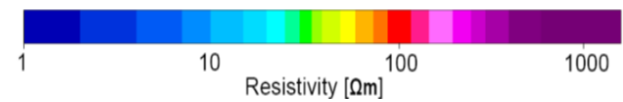
- Landskab
- Tunneldale



Skovmølleværket

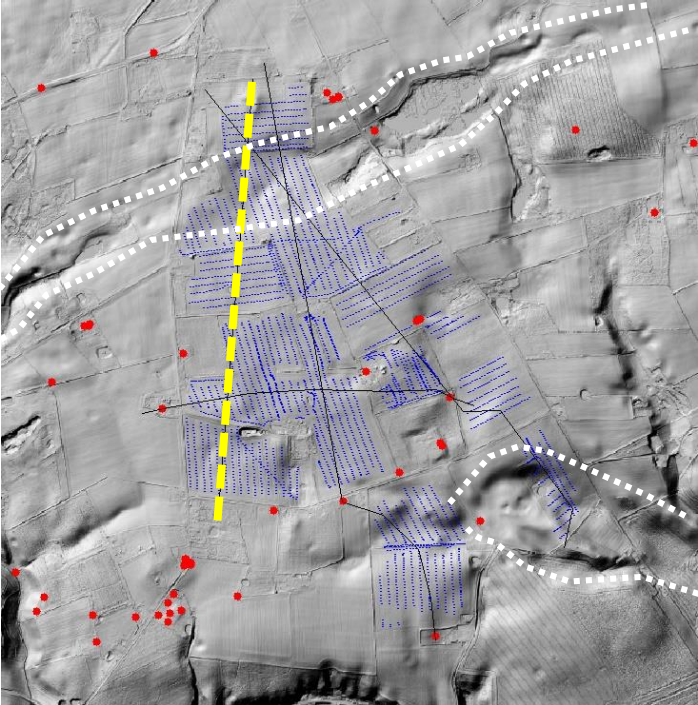
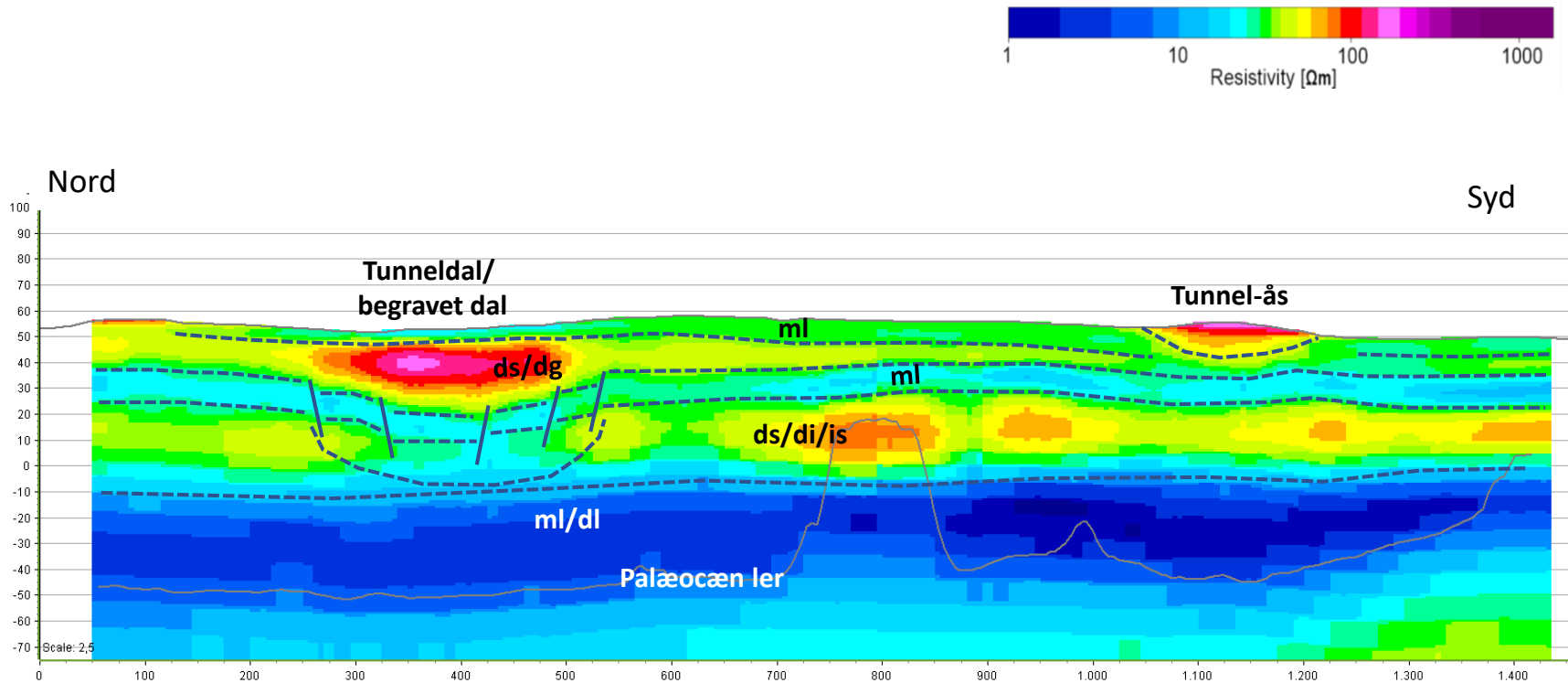
Geologisk tolkning

ds = smeltevandssand
dg = smeltevandsgrus
dl = smeltevandsler
ml = moræneler



Skovmølleværket

Geologisk tolkning



ds = smeltevandssand
dg = smeltevandsgrus
dl = smeltevandssler
ml = moræneler

Skovmølleværket

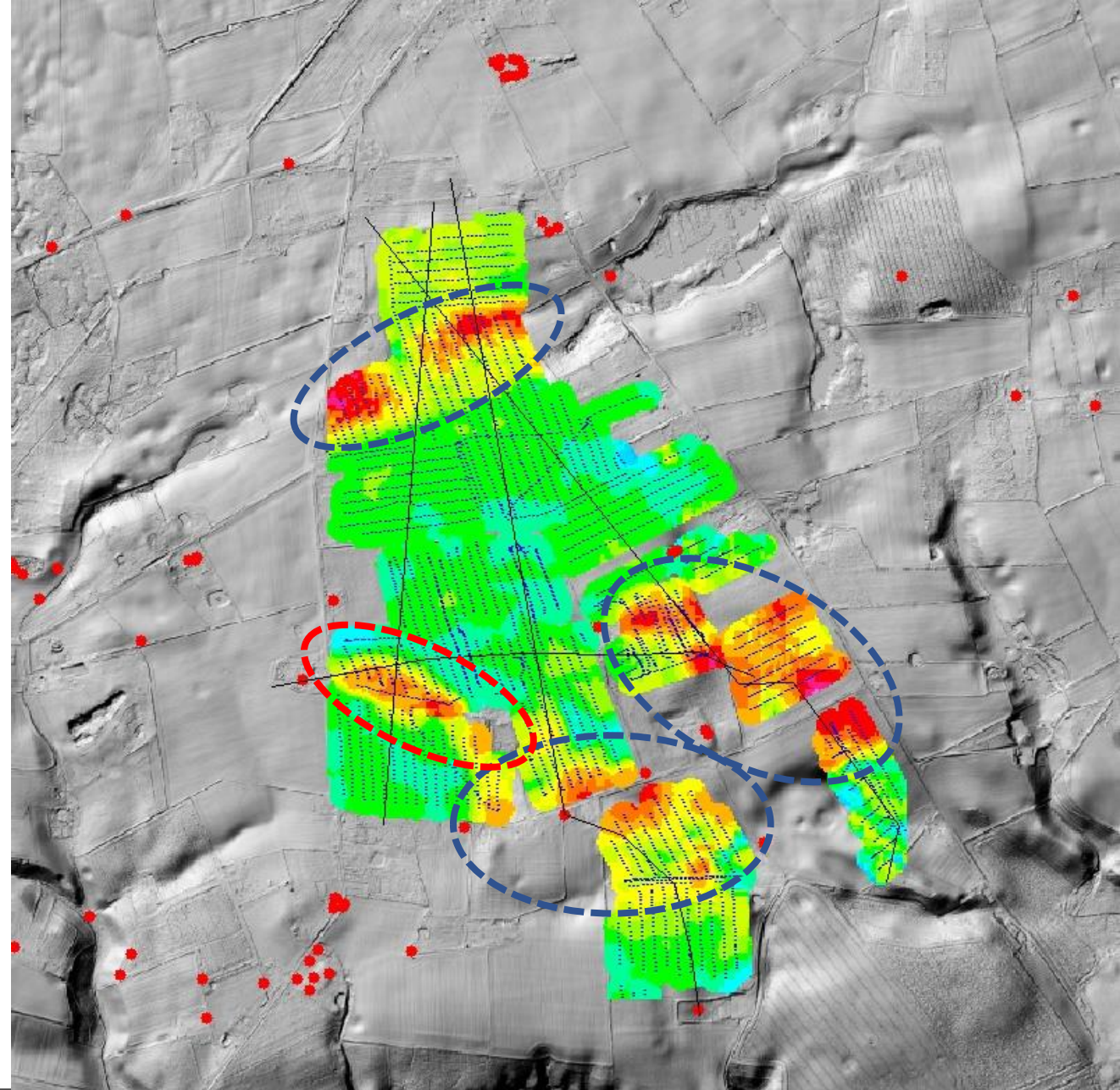
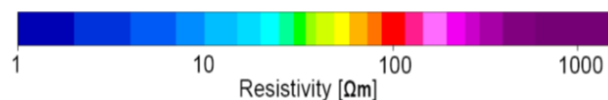
Geologisk tolkning

Resistivitet i 5 m dybde

Områder med tyndt eller
brudt lerdække



Tunnel-ås oven på ler

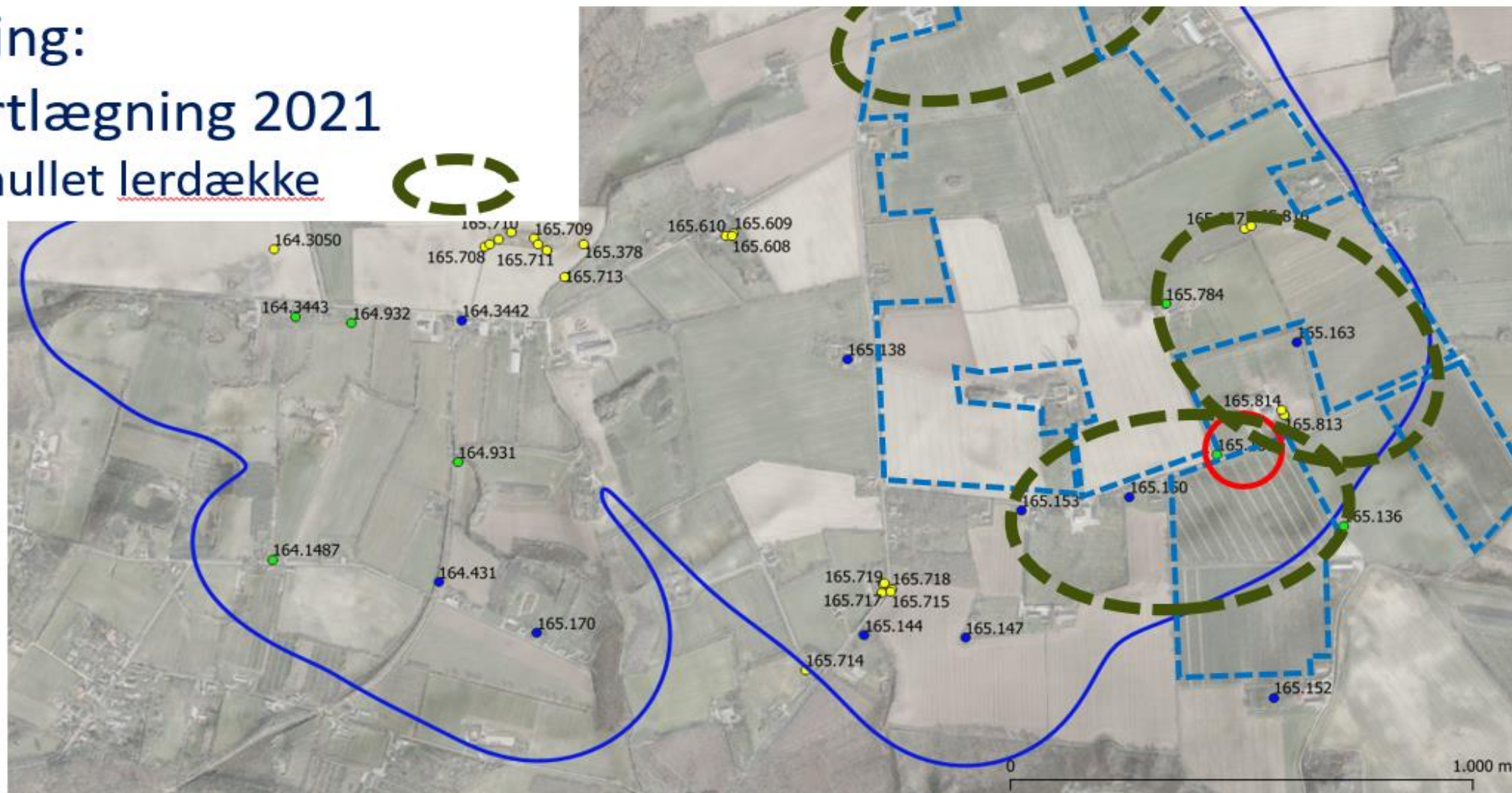


Partnerskab ved Skovmølleleværket, Svendborg

DMS i DGU 165.151

Kildeopsparing:

- T-TEM kortlægning 2021
 - Tyndt/hullet lerdække

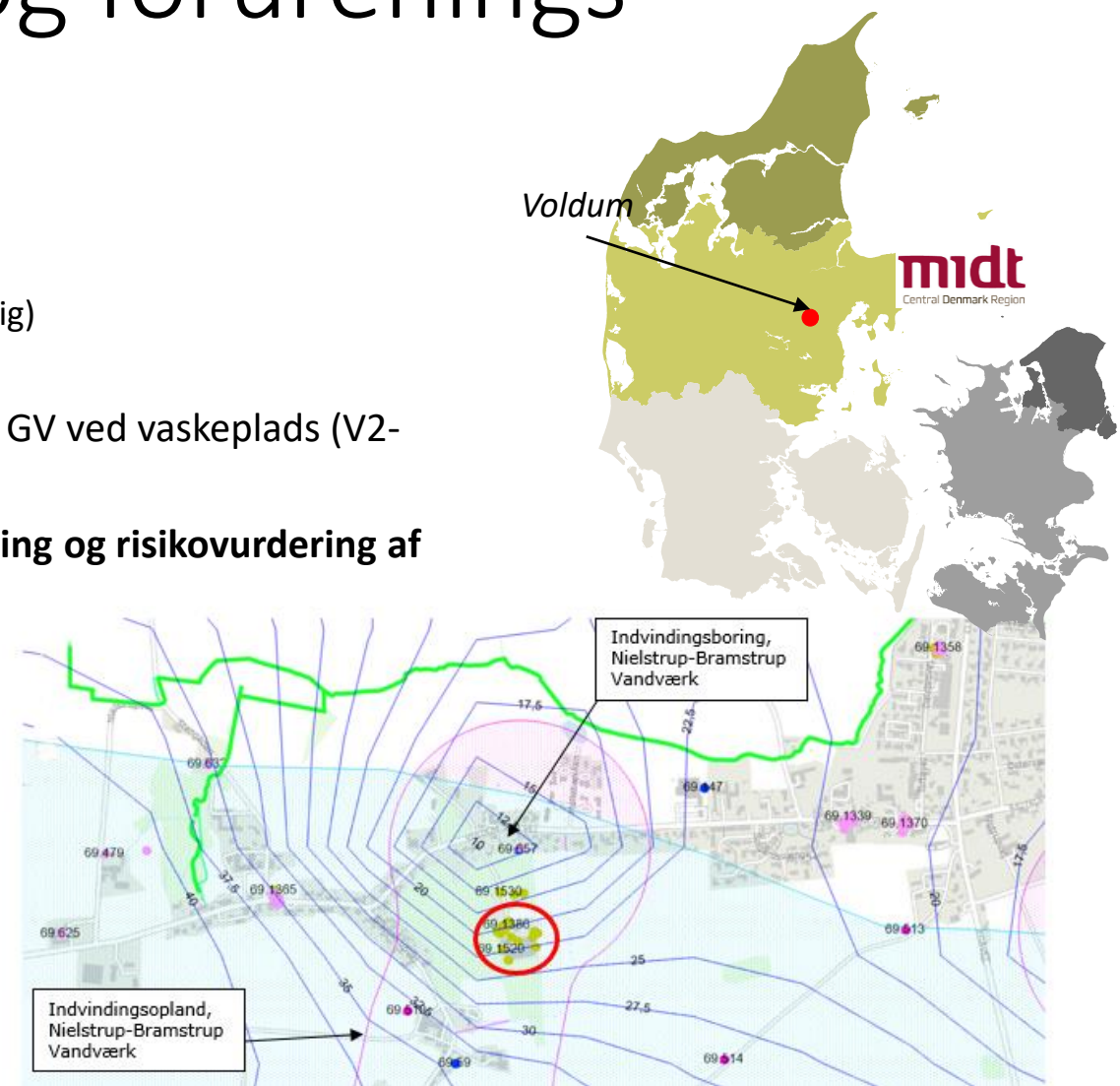


Voldum Rud Vej 85, Voldum

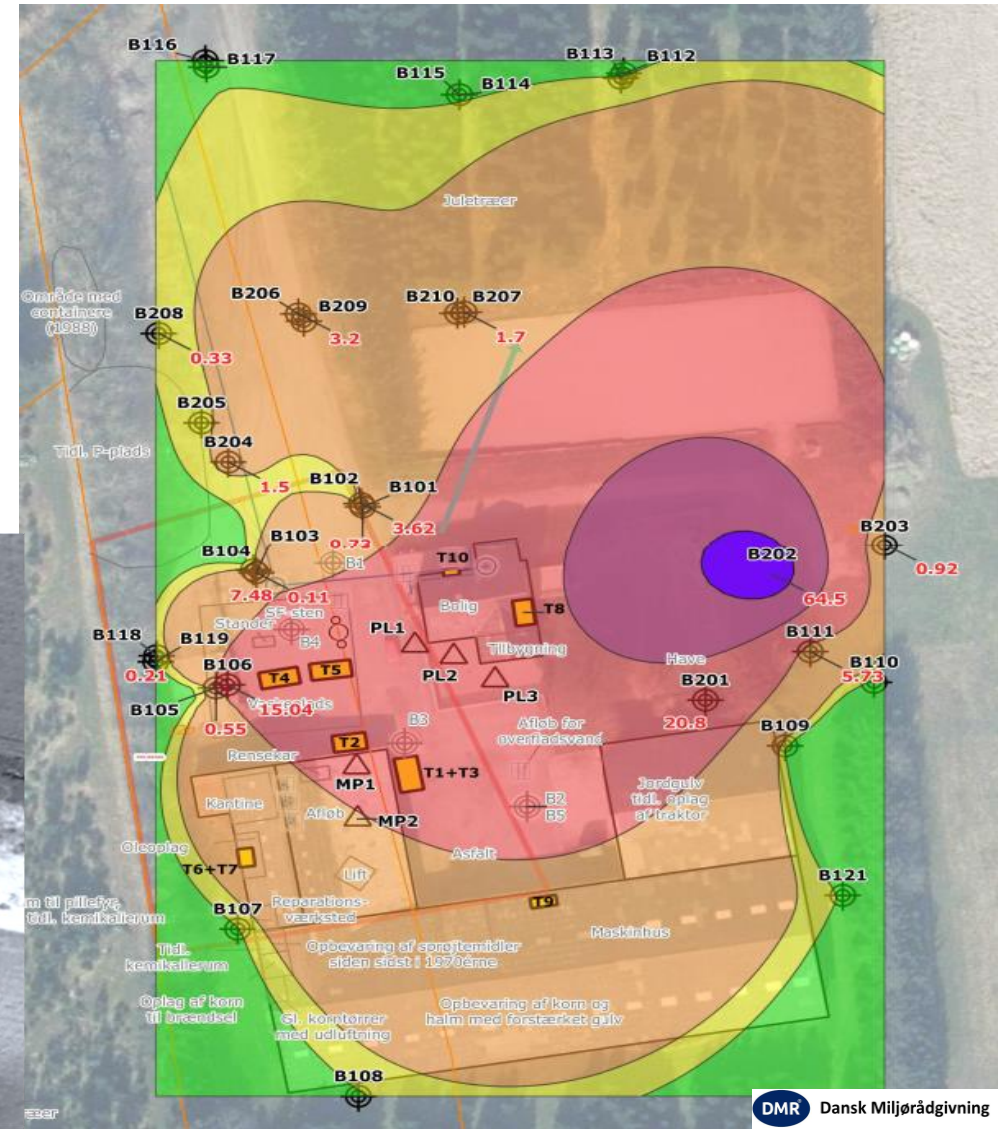
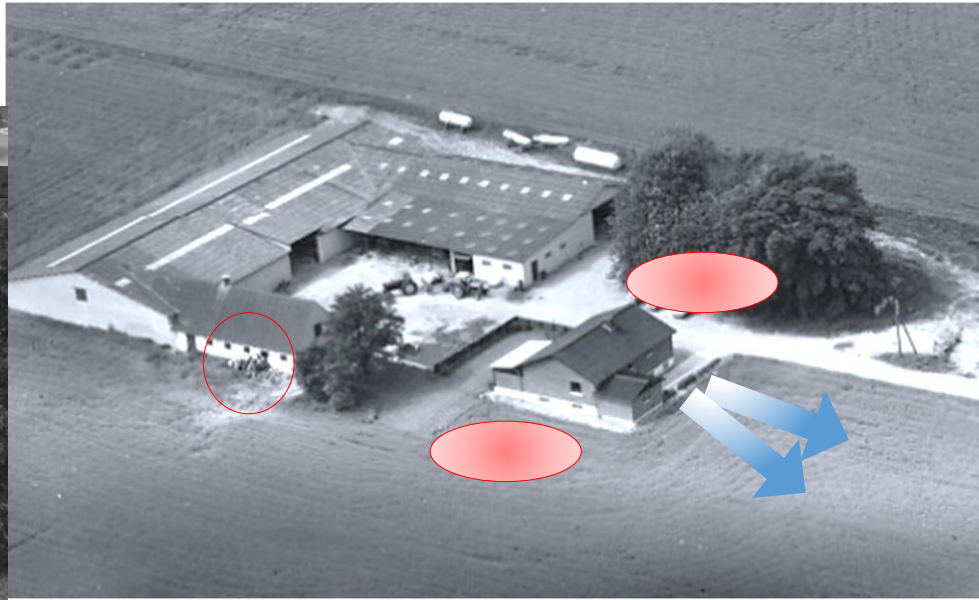


Lokalitetspræsentation og forureningsundersøgelsesformål

- Maskinstation med værksted 1951 - ca. 2014
Offentlige indsats
 - Indvindingsopland, ca. 180m til Vandværk fra punktkilde, OSD, (Bolig)
- 2012 Indledende Undersøgelse – fund af pesticider i terrænnært GV ved vaskeplads (V2-kortlagt 2017)
- 2019 -> **Videregående forureningsundersøgelse – mhp. afgræsning og risikovurdering af pesticidforurening**
- 2022 tTEM dataindsamling ifm. TUP projektet



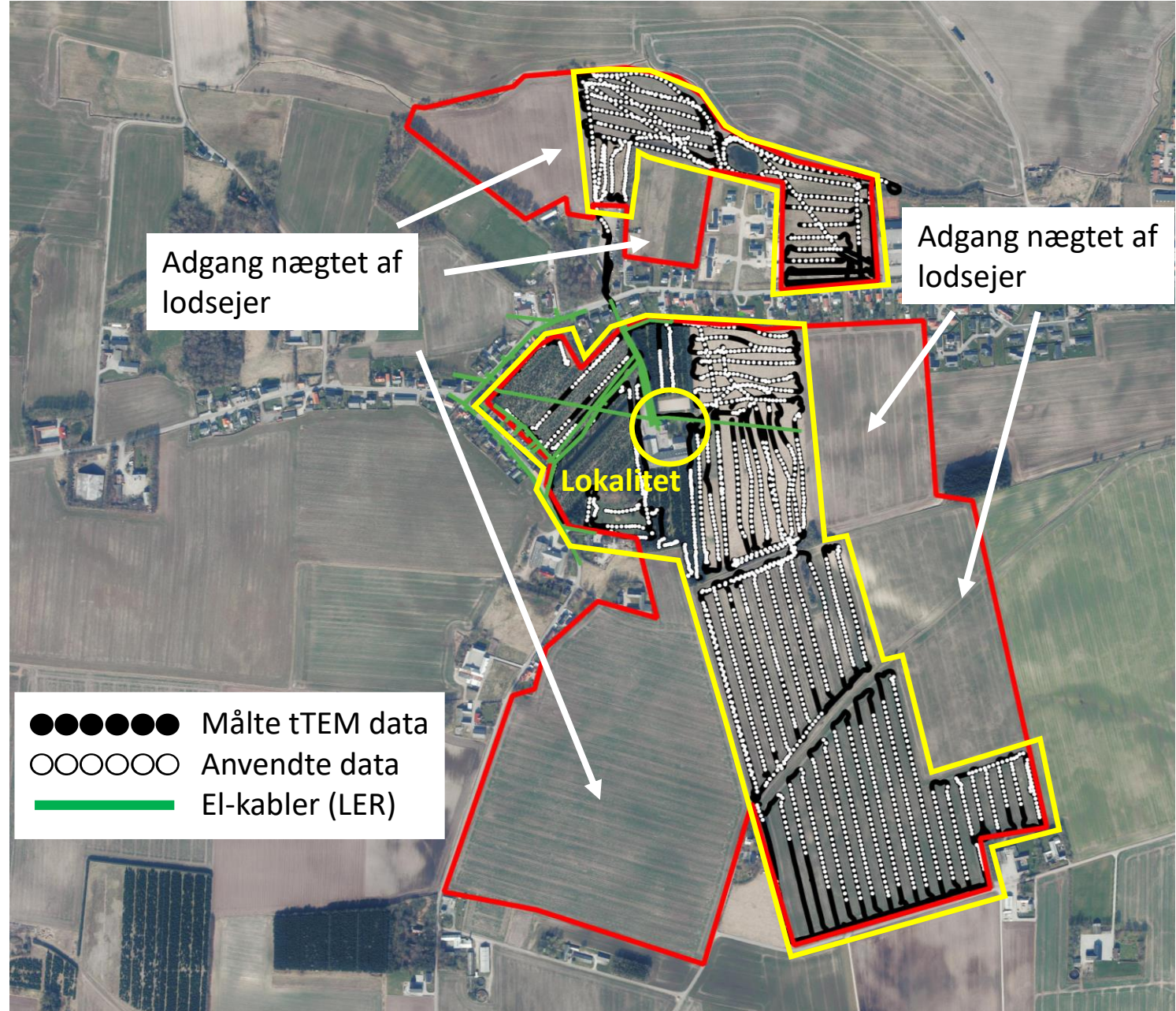
- Udført 31 stk. filtersatte boringer heraf 7 stk. til ca. 20 m u.t.
- 2 punktkilder lokaliseret (vaskeplads og oplag spild område)
- Phenoxyse + andet godt (34 forskellige pesticid)
- Konc. niveau hhv. max 15 µg/l ca. 65µg/l (sum)
- Kun fund at pesticider i terrænnært grundvand



Voldum

tTEM kortlægning

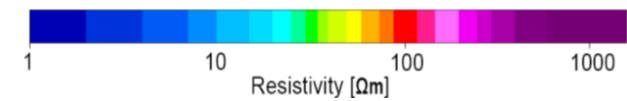
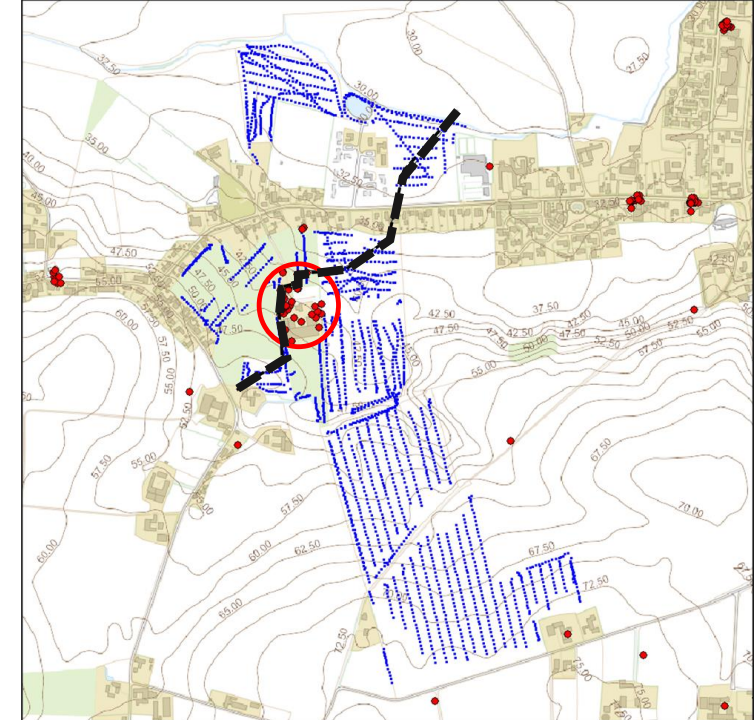
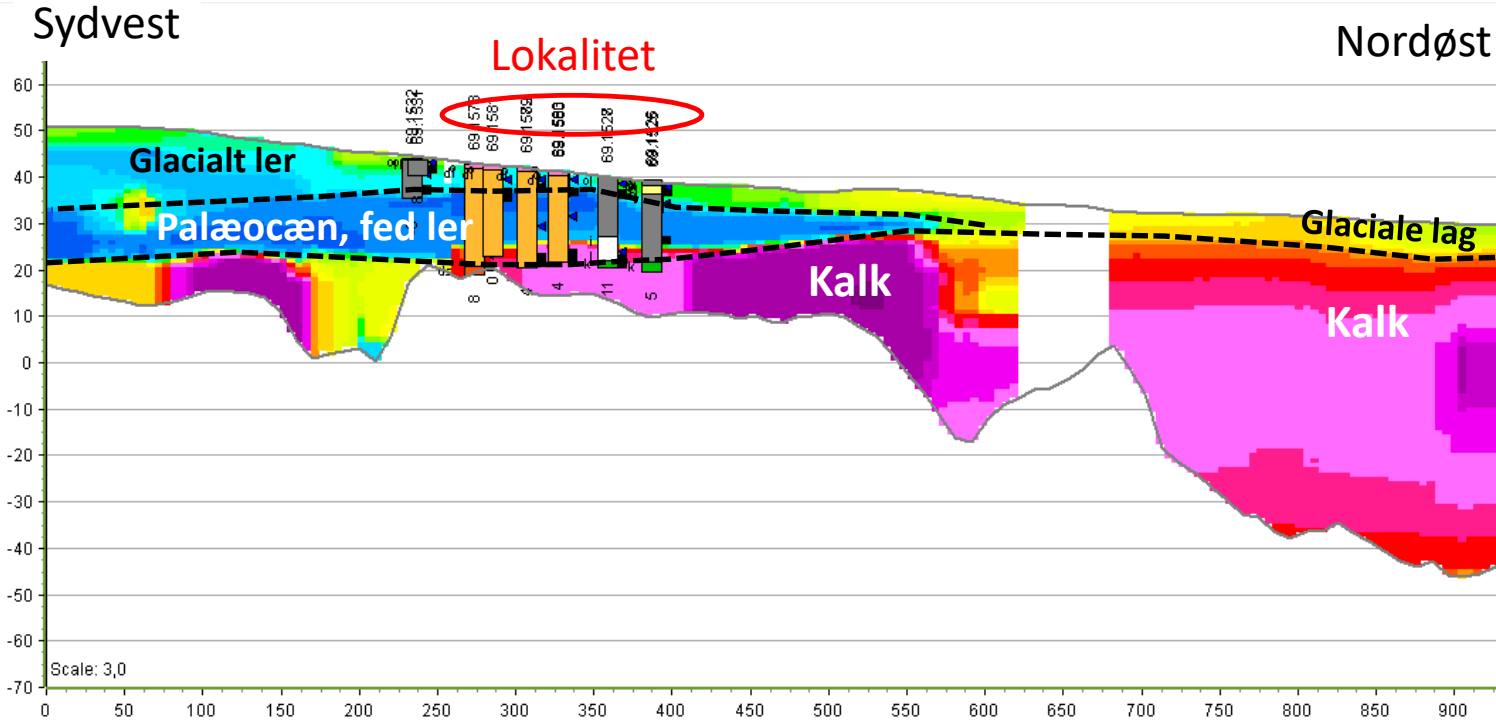
- Planlagt kortlægningsområde på 90 ha (rød)
Reelt kortlagt areal 50 ha (gul)
- Data indsamlet på 1 dag - den 7. april 2022



Geologisk tolkning

Voldum

Geologisk tolkning

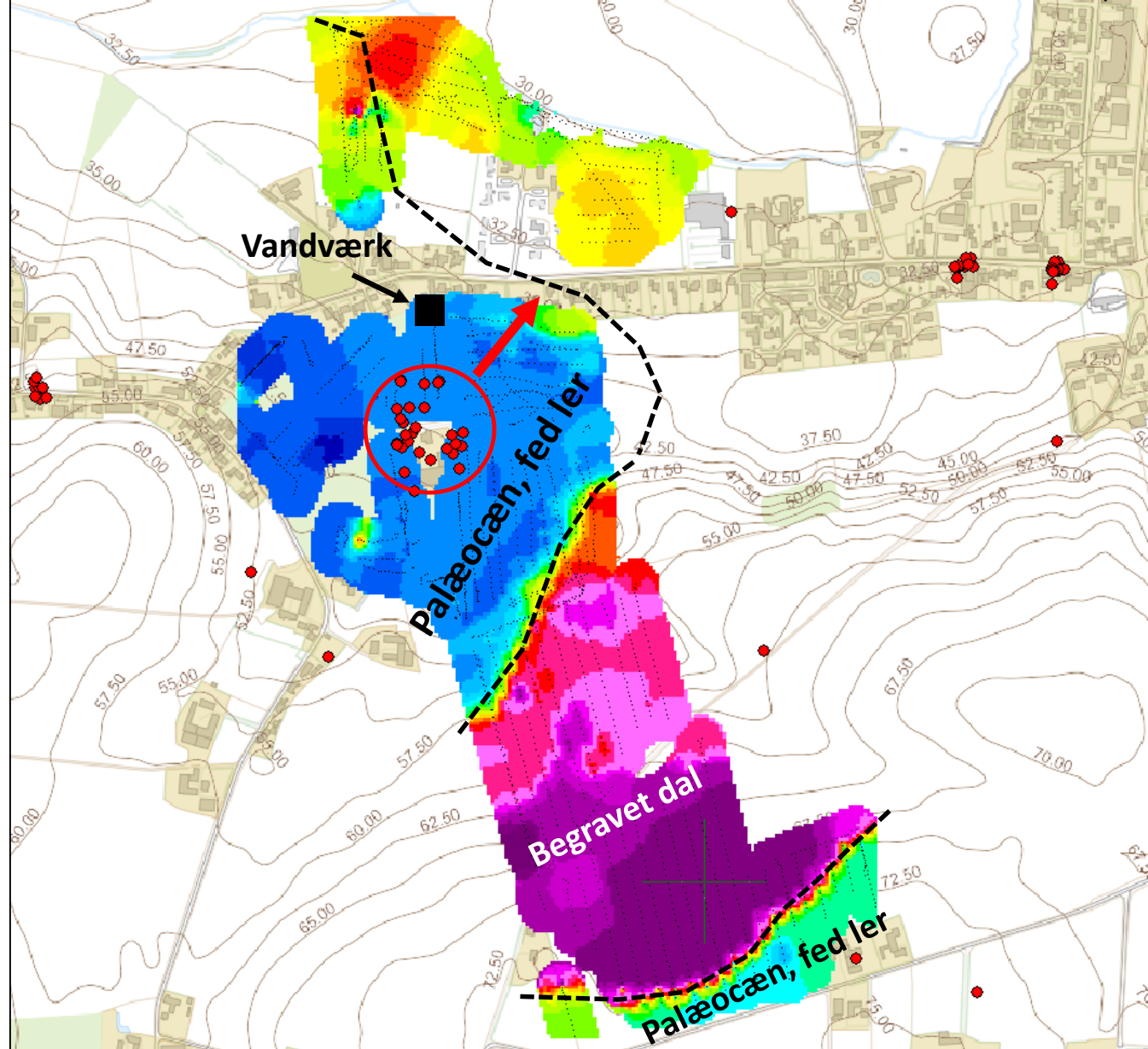
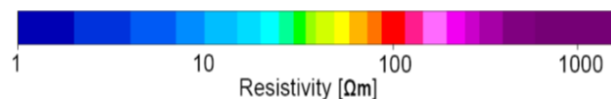


Voldum

Geologisk tolkning

Resistivitet i kote 30 m

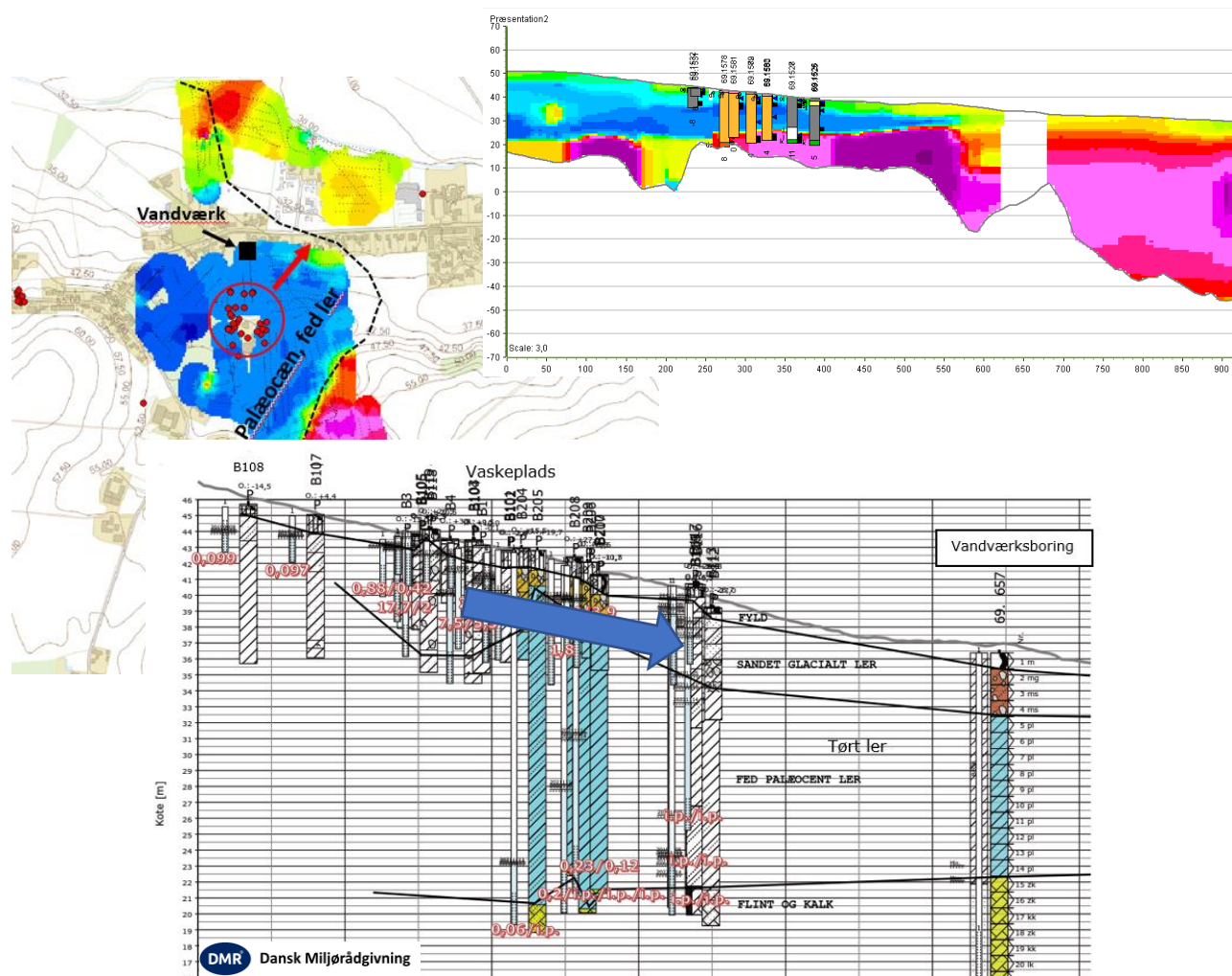
- Udbredelse af det palæocæne ler
- Strømningsretning af forurenet sekundært grundvand mod nordøst



Foreløbig risikovurdering

- tTEM har bekræftet / belyst placering og udbredelse af fed lerlag
- Yder god beskyttelse af primær grundvandsressource (tykkelse 12-15 m)
- Foreløbig risikovurdering – formentlig *ingen* risiko for indvindingen og OSD

Udestår: Gentaget vandprøvetagning samt supplerende horisontale afgrænsende boringer i terrænnært GV.



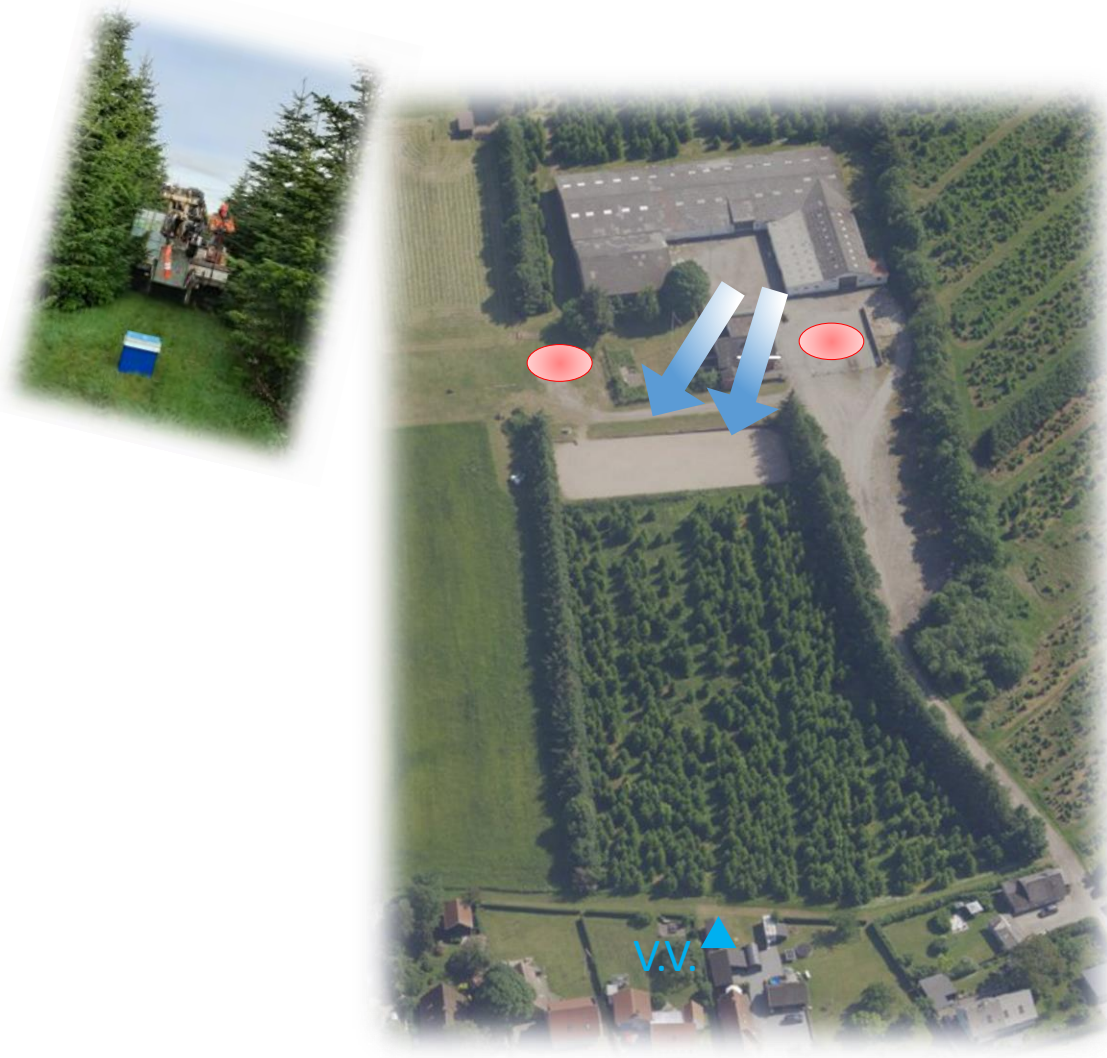
Erfaring og udbytte ved anvendelse af tTEM

tTEM har givet os

- Rigtig god konceptuel forståelse
- Sammenhold med pejledata klarhed over strømningsretninger
- Bestyrket datadrevet foreløbig risikovurdering
- Belyst huller i den nuværende undersøgelse
- Klarhed over videre tiltag

Lessons learned

- Vi skulle på denne lokalitet have startet med tTEM
"Havde vi den viden vi har i dag baseret på tTEM, havde vi formentlig ikke udført de dybere borer (7 stk.)"
- tTEM har givet en ualmindelig god forståelse af området og mulige spredningsveje



Perspektivering



Jesper Simensen, civilingeniør Teamleder Region Midtjylland

Perspektivering - *Potentiale og udsyn ved brug af tTEM på forureningsundersøgelser*

Der er efterhånden mere og mere erfaring med brugen af tTEM i Danmark

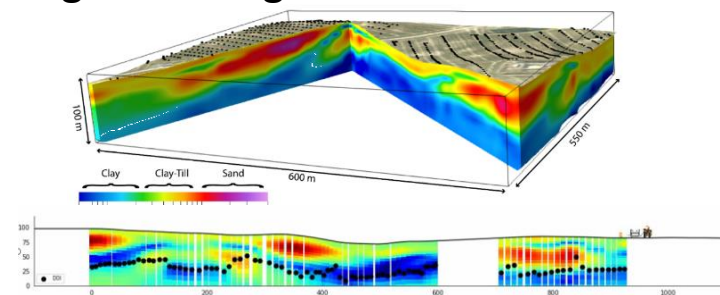
- Råstof planlægning, grundvandskortlægning, klima projekter og forureningsundersøgelser

I Region Midtjylland alene er der Siden 2018 kørt tTEM på mellem ca. 15-20 forureningsundersøgelser

Hvorfor så det....?

Fordi tTEM..

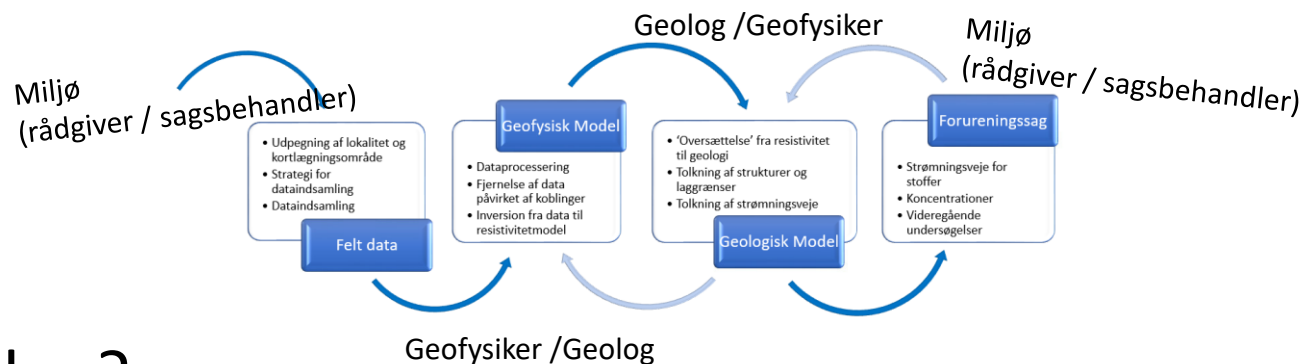
- Genererer meget data for billige penge (sammenlignet med traditionelle metoder med kun borearbejde)
- Mere kvalificeret og datastyret undersøgelsesplanlægning (oplæg / udførelse) – *spare penge?*
- Tidsoptimering – mindre trial and error, korrekt / optimal boringsplacering ”i første hug”
- Mere nuanceret billede af virkeligheden



Perspektivering – *Potentiale og udsyn ved brug af tTEM på forureningsundersøgelser*

- Mere kvalificerede og robust risikovurderinger – baseret på et større og mere helheds orienteret datagrundlag og hvorfor er det vigtigt..? fordi risikovurderingerne basseres på mindre antagelser og færre gæt
- Mindre invasiv / destruktiv metode til dataindsamling
- Mere bæredygtig mass-data Collection

Vigtig vigtig!! – fagligt sammenspil mellem parter / discipliner



Tanker fra salen?



Projektparter

*-Tank for jeres
opmærksomhed*



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen



Anders Edsen, anders.edsen@wsp.com

Henrik Olesen, Henrik.Olesen@wsp.com

HydroGeophysics Group
AARHUS UNIVERSITY



Jesper Bjergsted Pedersen
jesper.bjergsted@geo.au.dk

midt
regionmidtjylland

Flemming Jørgensen, Flemming.Joergensen@ru.rm.dk

Winnie Hyldegaard, winnie.hyldegaard@ru.rm.dk

Jesper Simensen, jesper.Simensen@ru.rm.dk



**Region
Hovedstaden**

Vinni Rønde, vinni.roende@regionh.dk
Nina Tuxen, nina.tuxen@regionh.dk



Tove Svendsen, Tove.Svendsen@rsyd.dk
Lars Frimodt Pedersen, lars.frimodt.pedersen@rsyd.dk



REGION NORDJYLLAND
– i gode hænder

Annette Dohm, ad@rn.dk

